

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/000042

International filing date: 05 January 2005 (05.01.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2004-001303
Filing date: 06 January 2004 (06.01.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 03 March 2005 (03.03.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in
compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

07.01.2005

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 4 年 1 月 6 日
Date of Application:

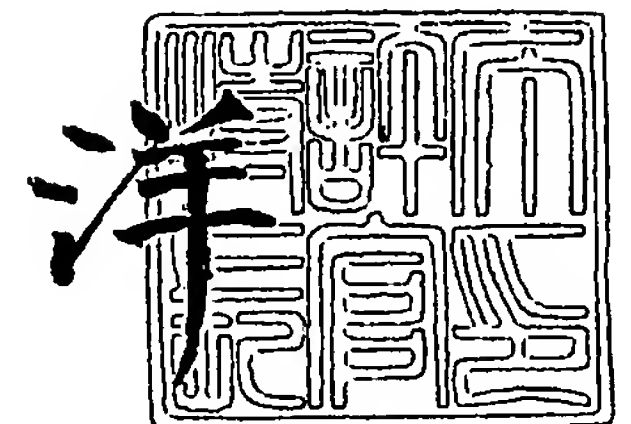
出 願 番 号 特 願 2 0 0 4 - 0 0 1 3 0 3
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 4 - 0 0 1 3 0 3]

出 願 人 浜松ホトニクス株式会社
Applicant(s):

2 0 0 5 年 2 月 1 7 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願
【整理番号】 2003-0494
【提出日】 平成16年 1月 6日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G03H 1/08
【発明者】
 【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社
 内
 【氏名】 池田 貴裕
【発明者】
 【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社
 内
 【氏名】 竹森 民樹
【特許出願人】
 【識別番号】 000236436
 【氏名又は名称】 浜松ホトニクス株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100088155
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 長谷川 芳樹
【選任した代理人】
 【識別番号】 100092657
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 寺崎 史朗
【選任した代理人】
 【識別番号】 100124291
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 石田 悟
【選任した代理人】
 【識別番号】 100110582
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 柴田 昌聰
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 014708
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

離散的画素構造を有しホログラムを呈示する空間光変調素子と、前記ホログラムを呈示した前記空間光変調素子に照明光を入射させて再生光を発生させる照明光学系と、この再生光を波面変換して虚像化し再生像を表示する再生像変換光学系とを備え、

前記再生像変換光学系の後焦点面において前記空間光変調素子での特定次数の回折による再生像を観察し得る領域内に到達する再生光のピーク位置が複数となるように、表示すべき目標再生像を構成する各輝点の輝点間隔および初期位相値の双方または何れか一方を設定して、この目標再生像を表示し得るホログラムを前記空間光変調素子に呈示させる、

ことを特徴とする三次元像表示装置。

【請求項 2】

前記目標再生像を構成する各輝点の初期位相値を時間的に変化させることを特徴とする請求項 1 記載の三次元像表示装置。

【請求項 3】

前記再生像変換光学系の後焦点面に設けられ、前記特定次数の回折による再生像を観察し得る領域のうち該領域内に到達する再生光のピーク位置を含む部分を透過させ、前記特定次数以外の他の次数の回折による再生光を遮断するマスクを更に備えることを特徴とする請求項 1 記載の三次元像表示装置。

【請求項 4】

離散的画素構造を有する空間光変調素子にホログラムを呈示し、この空間光変調素子に照明光を入射させて再生光を発生させ、この再生光を再生像変換光学系により波面変換して虚像化し再生像を表示する三次元像表示方法であって、

前記再生像変換光学系の後焦点面において前記空間光変調素子での特定次数の回折による再生像を観察し得る領域内に到達する再生光のピーク位置が複数となるように、表示すべき目標再生像を構成する各輝点の輝点間隔および初期位相値の双方または何れか一方を設定して、この目標再生像を表示し得るホログラムを前記空間光変調素子に呈示させる、

ことを特徴とする三次元像表示方法。

【請求項 5】

前記目標再生像を構成する各輝点の初期位相値を時間的に変化させることを特徴とする請求項 4 記載の三次元像表示方法。

【請求項 6】

前記再生像変換光学系の後焦点面に設けられ、前記特定次数の回折による再生像を観察し得る領域のうち該領域内に到達する再生光のピーク位置を含む部分を透過させ、前記特定次数以外の他の次数の回折による再生光を遮断するマスクを用い、

このマスクの透過部を通過した再生光により再生像を表示する、

ことを特徴とする請求項 4 記載の三次元像表示方法。

【請求項 7】

前記再生像変換光学系の後焦点面において前記空間光変調素子での特定次数の回折による再生像を観察し得る領域内に到達する再生光のピーク位置の間隔が、前記再生像を観察する観察者の瞳の径より小さい、

ことを特徴とする請求項 4 記載の三次元像表示方法。

【請求項 8】

前記照明光の波長を λ とし、前記再生像変換光学系の焦点距離を f とし、前記空間光変調素子の画素ピッチを p とし、前記再生像を観察する観察者の瞳の径を d とし、前記目標再生像を構成する各輝点のうち初期位相値が等しい輝点の間隔を Np (N は 2 以上の整数) としたときに、これらのパラメータの間に「 $d/2 > \lambda f / (Np)$ 」なる関係式が成り立つ、ことを特徴とする請求項 4 記載の三次元像表示方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】三次元像表示装置および三次元像表示方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、ホログラムを呈示した空間光変調素子に照明光を入射させて三次元再生像を表示する装置および方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

ホログラムを用いた三次元像表示装置は、ホログラムに照明光を入射させることで、このホログラムから再生光を発生させ、この再生光により三次元再生像を表示することができる。ホログラムは、物体光と参照光とを写真乾板上で干渉させることにより作成される他、計算によっても作成され得る。計算により作成されるホログラムは計算機ホログラムと呼ばれる。計算機ホログラムを用いた三次元像表示装置は、計算機ホログラムを空間光変調素子に呈示して、この空間光変調素子に照明光を入射させることにより、空間光変調素子から再生光を発生させて、この再生光により再生像を表示する。

【0003】

計算機ホログラムを用いた三次元像表示技術として、特許文献1に開示されたものが知られている。この特許文献1に開示された技術では、表示すべき再生像（以下「目標再生像」という。）を複数の輝点の集合体とみなして、これら複数の輝点それぞれから発生した球面波がホログラム面上に達するものと仮定する。ホログラム面上の各画素位置において、目標再生像上の複数の輝点それぞれから該画素位置に到達する球面波と平面伝搬波とを畳み込み積分することで、計算機ホログラムを作成する。この計算機ホログラムを呈示した空間光変調素子に照明光を入射させると、この空間光変調素子の各画素において照明光の振幅および位相の双方または何れか一方が変調されて、空間光変調素子から再生光が発生する。そして、この再生光を再生像変換光学系（具体的には凸レンズ）により波面変換して虚像化または実像化し再生像を表示する。

【0004】

また、この特許文献1では、空間光変調素子が振幅および位相のうち何れか一方のみを変調することができる場合には、再生像変換光学系の後焦点面にマスクを設ける。そして、このマスクにより、0次光（空間光変調素子に入射した照明光のうち当該入射方向と同一の出射方向に出た光）、不要な次数の回折波および共役波を遮断する一方で、特定次数の回折による再生光を透過させて、この透過した再生光による再生像を観察者が観察できるようにしている。

【0005】

非特許文献1には、ランダムフェーズシフタ法について記載されている。画像を呈示した空間光変調素子に光を入射させて物体光を生成し、この物体光の光学的フーリエ変換を写真乾板上で参照光と干渉させて、これによりフーリエ変換ホログラムを記録すると、写真乾板上の1点に物体光が集中して入射することから感光材料の感光のダイナミックレンジを越えてしまい、再生像にはスペックル雑音が顕著に現れる。ランダムフェーズシフタ法は、このような問題を解決することを意図したものであり、画像を呈示する空間光変調素子において各画素の位相変調度をランダムにすることにより、写真乾板に入射する物体光の分布を広くして、写真乾板における光強度が感光材料の感光のダイナミックレンジを越えないようにする。これにより、スペックル雑音が低減された再生像を得ることができる。

【0006】

特許文献2、3または非特許文献2には、観察者の両眼に異なった画像を表示する立体表示装置が記載されている。一般に、立体表示装置では、網膜上での画像の結像位置が固定され、両眼の視差による距離感と両眼の結像位置の間隔とが整合しないので、眼の焦点調節と輻輳との不一致に因り、観察者に大きな疲労を与える。特許文献2、3または非特許文献2に記載された技術は、このような問題を解決することを意図したものである。

【0007】

特許文献2または非特許文献2に記載されたマクスウェル視を利用した装置は、観察者の眼の瞳の中心を通過する光のみにより網膜上に画像を結像させる。これにより、観察者の眼の焦点調節に拘わらず、観察者が観察する画像のボケは少ない。一方、特許文献3に記載された超多眼条件を満たす装置は、複数の光束からなる視差画像を観察者の眼の瞳に入射させる。これにより、観察者の眼の焦点調節が立体像付近に導かれて、両眼の視差による距離感と両眼の結像位置の間隔とが整合する。

【特許文献1】特開平9-258643号公報

【特許文献2】特開2002-277822号公報

【特許文献3】特開2002-228978号公報

【非特許文献1】角田義人、「ホログラフィックな高密度画像記録」、光学、第2巻、第6号、第329頁～第346頁、1973年

【非特許文献2】安東孝久、他、「ホログラフィック光学素子によるマクスウェル視を用いたシースルーディスプレイ」、映像情報メディア学会誌、Vol.54、No.10、p.1466-1473、2000年

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

特許文献1に開示されたような三次元像表示技術において、計算機ホログラムを作成する際の計算量や使用メモリ量が膨大になることから、これらを低減することが望まれる。そして、計算量や使用メモリ量の低減の為に、空間光変調素子から直接的に再生される像（以下「直接再生像」という。）における各輝点位置を空間光変調素子の何れかの画素位置と光軸に垂直な面上で一致させること（以下「条件1」という。）とともに、空間光変調素子と直接再生像との間の最短距離を照明光の波長の整数倍として各輝点の初期位相を一定値とすること（以下「条件2」という。）が一般に行われる。

【0009】

これら条件1および条件2について更に説明すると、以下のとおりである。仮に直接再生像における各輝点位置を空間光変調素子の何れかの画素位置と一致させない場合（すなわち、条件1が満たされない場合）には、ホログラム作成時の畳み込み積分の際に、直接再生像における各輝点位置と空間光変調素子の各画素位置との全ての組み合わせの場合について両者間の距離を計算する必要が生じて、計算量の爆発的増加を招くことになる。これに対して、条件1が満たされる場合には、直接再生像における各輝点位置と空間光変調素子の各画素位置との間の相対的位置関係の場合の数が少なくなるので、計算量が低減される。この条件1に加えて条件2も満たされることで、直接再生像における輝点から発生する球面波の種類の数が更に低減されて、予め計算して用意しておく球面波の計算結果を記憶するのに必要なメモリ量が低減される。

【0010】

しかしながら、条件1および条件2の双方が満たされた場合に、他の或る条件が満たされるときには、以下のような問題が生じる。すなわち、条件1および条件2の双方が満たされる場合には、直接再生像から再生像変換光学系の後焦点面までの光学的距離が一定であるので、この後焦点面上の1点に光が集中して入射する。そして、この集光点に入射した光は0次光マスクにより遮断されるので、観察者が観察することができる再生像の光量が減少する。特に、低い空間周波数成分が支配的である再生像である場合、すなわち、輝度値の変化が少ない再生像である場合には、再生光の大部分がマスクにより遮断されるので、観察者が観察することができる再生像の光量が大幅に減少する。また、観察者の眼の瞳に到達する再生光は、拡がりが不十分で、瞳の局所にしか分布せず、それ故、観察者の眼の焦点調節機能が有効に働かず、眼の焦点調節機能から検知される距離感が不足してしまう。

【0011】

このような問題を解決するために、特許文献1に開示されたような三次元像表示技術に

において、非特許文献 1 に記載されたランダムフェーズシフト法を援用することが考えられる。この場合、目標再生像の各輝点の初期位相をランダム値として、ホログラム面上の各画素位置において、目標再生像上の複数の輝点それぞれから該画素位置に到達する球面波と平面伝搬波とを畳み込み積分する。しかし、計算機ホログラムを呈示する空間光変調素子では各画素における光の振幅変調または位相変調の階調数が限られていることから、畳み込み積分の際に高周波成分が互いに打ち消し合って、再生像の表示の際には高周波成分が表示されない場合が発生する。そして、高周波成分が表示されない場合がランダムに発生するので、再生像にはスペckル雑音が観察され、表示品質が著しく損なわれる。

【0012】

特許文献 1 に開示されたような三次元像表示技術において、特許文献 2 または非特許文献 2 に記載されたマクスウェル視を利用すると、常にボケが少ない再生像が観察されるので、実空間におけるような眼の焦点調節が外れたときの物体までの距離に応じた自然なボケが再現されない。したがって、眼の焦点調節機能による距離感が損なわれる。

【0013】

また、特許文献 1 に開示されたような三次元像表示技術において、特許文献 3 に記載された超多眼条件を満たす装置を適用する場合には、観察者の眼の瞳面上で分割された複数の領域それぞれに異なった視差画像を入射させる表示素子と、この表示素子からの光束を瞳面上の複数の領域それぞれに導く光学系とが必要となる。したがって、装置が複雑で大型になってしまう。

【0014】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、簡易な構成で観察者の眼の焦点調節機能を有効に働かせて高品質の再生像を表示することができる三次元像表示装置および三次元像表示方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0015】

本発明に係る三次元像表示装置は、離散的画素構造を有しホログラムを呈示する空間光変調素子と、ホログラムを呈示した空間光変調素子に照明光を入射させて再生光を発生させる照明光学系と、この再生光を波面変換して虚像化し再生像を表示する再生像変換光学系とを備え、再生像変換光学系の後焦点面において空間光変調素子での特定次数の回折による再生像を観察し得る領域内に到達する再生光のピーク位置が複数となるように、表示すべき目標再生像を構成する各輝点の輝点間隔および初期位相値の双方または何れか一方を設定して、この目標再生像を表示し得るホログラムを空間光変調素子に呈示させることを特徴とする。

【0016】

また、本発明に係る三次元像表示方法は、離散的画素構造を有する空間光変調素子にホログラムを呈示し、この空間光変調素子に照明光を入射させて再生光を発生させ、この再生光を再生像変換光学系により波面変換して虚像化し再生像を表示する三次元像表示方法であって、再生像変換光学系の後焦点面において空間光変調素子での特定次数の回折による再生像を観察し得る領域内に到達する再生光のピーク位置が複数となるように、表示すべき目標再生像を構成する各輝点の輝点間隔および初期位相値の双方または何れか一方を設定して、この目標再生像を表示し得るホログラムを空間光変調素子に呈示させることを特徴とする。

【0017】

本発明によれば、離散的画素構造を有する空間光変調素子にホログラムが呈示され、この空間光変調素子に照明光が入射することで再生光が発生し、この再生光が再生像変換光学系により波面変換されて虚像化され再生像が表示される。特に、空間光変調素子にホログラムが呈示されるに際しては、表示すべき目標再生像を構成する各輝点の輝点間隔および初期位相値の双方または何れか一方が適切に設定される。これにより、再生像変換光学系の後焦点面において、空間光変調素子での特定次数の回折による再生像を観察し得る領域内に、再生光の複数のピークが到達する。したがって、観察者は、これら複数の光ピー

ク位置それぞれの近傍に分布する再生光を眼の瞳に同時に入射することで、眼の焦点調節機能を有効に働かせることができる。また、低い空間周波数成分が支配的である再生像をも良好に観察することができる。

【0018】

なお、表示すべき目標再生像を構成する各輝点の輝点間隔および初期位相値の分布は周期的構造を有しているのが好適であり、再生像変換光学系の後焦点面における再生光のピーク位置の分布は、この周期的構造に応じたものとなる。

【0019】

本発明に係る三次元像表示装置または三次元像表示方法では、目標再生像を構成する各輝点の初期位相値を時間的に変化させるのが好適である。この場合には、再生像に重畳される干渉縞パターンは時間的に相殺されて、干渉縞パターンの影響が低減され、より鮮明な再生像が表示され得る。

【0020】

本発明に係る三次元像表示装置は、再生像変換光学系の後焦点面に設けられ、特定次数の回折による再生像を観察し得る領域のうち該領域内に到達する再生光のピーク位置を含む部分を透過させ、特定次数以外の他の次数の回折による再生光を遮断するマスクを更に備えるのが好適である。また、本発明に係る三次元像表示方法は、上記のようなマスクを用い、このマスクの透過部を通過した再生光により再生像を表示するのが好適である。この場合には、不要な光が観察者の眼の瞳に入射するのを防止できて、より鮮明な再生像を観察することができる。

【0021】

本発明に係る三次元像表示方法は、再生像変換光学系の後焦点面において空間光変調素子での特定次数の回折による再生像を観察し得る領域内に到達する再生光のピーク位置の間隔が、再生像を観察する観察者の瞳の径より小さいのが好適である。また、照明光の波長を λ とし、再生像変換光学系の焦点距離を f とし、空間光変調素子の画素ピッチを p とし、再生像を観察する観察者の瞳の径を d とし、目標再生像を構成する各輝点のうち初期位相値が等しい輝点の間隔を Np (N は2以上の整数)としたときに、これらのパラメータの間に「 $d/2 > \lambda f / (Np)$ 」なる関係式が成り立つのが好適である。これらの場合には、これら複数の光ピーク位置それぞれの近傍に分布する再生光を眼の瞳に同時に入射することで、超多眼条件を満たすようになって、眼の焦点調節機能を有効に働かせることができる。また、低い空間周波数成分が支配的である再生像をも良好に観察することができる。

【発明の効果】

【0022】

本発明によれば、簡易な構成で、観察者の眼の焦点調節機能を有効に働かせて、高品質の再生像を表示することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0023】

以下、添付図面を参照して、本発明を実施するための最良の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0024】

或る物体を観察する観察者の眼の焦点調節機能を有効に働かせて観察者に距離感を感じさせるためには、その物体からの光が観察者の眼の瞳面に入射する必要がある。特に、物体からの光の波面が観察者の眼の瞳面の全体に入射する状態は、観察者にとって自然な状態であり、観察者の眼の焦点調節機能を有効に働かせて距離感を満足させる。観察者の眼の瞳面に到達する光の波面の広さは、瞳面の広さと同程度または同程度以上であることが望ましい。観察者の眼の瞳面に到達する光の波面が広いほど、より有効に観察者の眼の焦点調節機能は働き、より強く観察者は距離感を感じることができる。

【0025】

逆に、観察者の眼の瞳面に到達する光の波面が狭く、瞳面の局所のみを光が通過するよ

うな場合には、レンズにおける瞳の絞りを小さくした状態と同様に、いわゆる被写体深度が深い状態となって、遠景および近景の双方で焦点が合った状態となる。このような状態では、眼の焦点調節が外れたときの物体までの距離に応じた自然なボケが再現されず、眼の焦点調節機能による距離感が損なわれる。

【0026】

ホログラムを用いた三次元像表示技術は、ホログラムに照明光を入射させて再生光を発生させて、この再生光により再生像を表示するものであって、自然界における物体からの光を再現するものである。したがって、ホログラムから発生した再生光の波面は、再生像を観察する観察者の眼の瞳面の広い範囲に到達することが望ましい。

【0027】

以下に説明する本実施形態に係る三次元像表示装置および三次元像表示方法は、観察者の眼の焦点調節機能を有効に働かせることができ、以上に記したような問題を解決することができるものである。

【0028】

図1は、三次元像表示装置1の光学系および動作を説明する図である。この図に示される三次元像表示装置1は、空間光変調素子11、凸レンズ12およびマスク13を備える。なお、説明の便宜の為に、 $x y z$ 直交座標系を設定して、 z 軸をレンズ12の光軸と一致させ、原点をレンズ12の後焦点位置と一致させる。

【0029】

空間光変調素子11は、離散的画素構造を有しており、複数の画素が一定ピッチで二次元配列されている。空間光変調素子11は、 $x y$ 平面に平行に配置され、各画素に入射した光の振幅および位相の双方または何れか一方を変調して透過させ、その変調した光を出力する。レンズ12は、再生像変換光学系として作用するものであり、空間光変調素子11により変調されて出力された光を入力し、この光を波面変換して虚像化し再生像を表示する。マスク13は、レンズ12の後焦点面に配置され、開口部13Aを有している。マスク13は、特定次数の回折による再生像を観察し得る領域のうち該領域内に到達する再生光のピーク位置を含む部分を開口部13Aにより透過させ、該領域の縁に到達する光線のピーク位置を含む部分を遮断する。

【0030】

空間光変調素子11の各画素において光の振幅または位相の変調度が設定されることで、空間光変調素子11にホログラムが呈示される。照明光90は、ホログラムが呈示された空間光変調素子11に対して、図1において左方から、平行光として z 軸に平行に入射する。空間光変調素子11に入射した照明光90は、各画素において振幅または位相が変調される。この空間光変調素子11により画素毎に変調されて出力された光すなわち再生光は、直接再生像（空間光変調素子から直接的に再生される像）を形成する。図中において、輝点91a, 91bは直接再生像（虚像）の輝点を表し、輝点92a, 92bは直接再生像（実像）の輝点を表す。

【0031】

再生光は、レンズ12により波面変換されて虚像化され、再生像が形成される。図中において、輝点93a, 93bは再生像の輝点を表し、輝点94a, 94bは共役像の輝点を表す。そして、マスク13の開口部13Aの付近に眼の瞳を配置した観察者は、この開口部13Aを通して、再生像（以下「表示再生像」という。）を観察することができる。このとき、0次光、不要な次数の回折波および共役波は、マスク13により遮断され、観察者の眼の瞳には入射しない。

【0032】

直接再生像の輝点の座標値を $(a x', a y', a z')$ とし、これに対応する表示再生像の輝点の座標値を $(b x', b y', b z')$ とする。また、レンズ12の焦点距離を f とする。このとき、これらのパラメータの関係は、相似関係から下記(1)式で表され、また、レンズの結像公式から下記(2)式で表される。

【0033】

【数 1】

$$ax' = f \frac{bx'}{bz'} \quad \dots (1a)$$

$$ay' = f \frac{by'}{bz'} \quad \dots (1b)$$

【0034】

【数 2】

$$\frac{1}{az' - f} + \frac{1}{f - bz'} = \frac{1}{f} \quad \dots (2)$$

【0035】

これら(1)式および(2)式から、直接再生像の輝点の z 座標値 az' は、下記(3)式で表される。

【0036】

【数 3】

$$az' = 2f - \frac{f^2}{bz'} \quad \dots (3)$$

【0037】

また、空間光変調素子 11 と直接再生像の輝点との間の距離 z_1 は、下記(4)式で表される。

【0038】

【数 4】

$$\begin{aligned} z_1 &= az' - (L + f) \\ &= f - L - \frac{f^2}{bz'} \end{aligned} \quad \dots (4)$$

【0039】

空間光変調素子 11 において複数の画素が x 軸方向および y 軸方向それぞれにピッチ p で二次元配列されているとする。既述した条件 1 (直接再生像における各輝点位置を空間光変調素子 11 の何れかの画素位置と xy 平面上で一致させること) から、直接再生像の輝点の x 座標値 ax' および y 座標値 ay' それぞれは、画素ピッチの整数倍として下記(5)式で近似される。ここで、 m , n は整数である。これら ax' , ay' の近似値を ax , ay とする。

【0040】

【数 5】

$$ax' \approx m \cdot p = ax \quad \dots (5a)$$

$$ay' \approx n \cdot p = ay \quad \dots (5b)$$

【0041】

照明光 90 の波長を λ とする。記述した条件 2 (空間光変調素子 11 と直接再生像との間の距離を照明光の波長 λ の整数倍として各輝点の初期位相を一定値とすること) から、直接再生像の輝点の z 座標値 az' は、下記(6)式で近似される。ここで、 h は整数である

。s は、一定の初期位相値を表し、簡易には値 0 とされる。この az' の近似値を az とする。

【0042】

【数 6】

$$az' \approx h \cdot \lambda + s = az \quad \dots (6)$$

【0043】

これら ax , ay , az を用いると、上記(1)式および(3)式から、表示再生像の輝点の座標値 bx , by , bz は、下記(7)式で表される。

【0044】

【数 7】

$$bx = \frac{ax \cdot bz}{f} \quad \dots (7a)$$

$$by = \frac{ay \cdot bz}{f} \quad \dots (7b)$$

$$bz = \frac{f^2}{2f - az} \quad \dots (7c)$$

【0045】

図 2 は、三次元像表示装置 1 から空間光変調素子 11 およびレンズ 12 を除いた光学系を説明する図である。表示再生像の輝点 93a, 93b それぞれから発した球面波は、レンズ 12 の後焦点面にあるマスク 13 の開口部 13A を通過して、この開口部 13A の付近に配置されている観察者の眼の瞳に入射して、これにより、観察者は表示再生像を観察することができる。位置 (bx , by , bz) にある輝点から発した球面波がレンズ 12 の後焦点面に入射する方位と光軸とがなす角度 θ_m は、下記(8)式で表される。

【0046】

【数 8】

$$\begin{aligned} \theta_m &= \tan^{-1} \left(\frac{bx}{bz} \right) \\ &= \tan^{-1} \left(\frac{m \cdot p}{f} \right) \quad \dots (8) \end{aligned}$$

【0047】

bz は照明光波長 λ の整数倍であるから、表示再生像の各輝点からレンズ 12 の後焦点位置までの光学的距離が略一定となる。したがって、レンズ 12 の後焦点位置において、表示再生像の各輝点から発した球面波が干渉して強め合うことになり、光強度が強くなる。また、近軸領域では、レンズ 12 の後焦点面上において、 $\lambda f / p$ のピッチで光強度が強くなる。複数の輝点で表示される三次元の表示再生像の場合、複数の輝点それぞれから発した球面波は、重なり合ってレンズ 12 の後焦点面に到達する。

【0048】

しかし、レンズ 12 の後焦点面に配置されたマスク 13 の作用により、0 次光、不要な次数の回折波および共役波が遮断されるだけでなく、上記のような干渉の結果として光強度が強くなる部分に到達する光も遮断される。したがって、マスク 13 の開口部 13A を通過して観察者の眼の瞳に入射する光の量は大幅に減少してしまう。特に、一様な輝度で

模様がないような物体の再生像の場合、すなわち、低い空間周波数成分が支配的であるような再生像の場合、観察者が観察することができる再生像の光量が大幅に減少する。

【0049】

そこで、本実施形態に係る三次元像表示装置および三次元像表示方法では、レンズ12の後焦点面において空間光変調素子11での特定次数の回折による再生像を観察し得る領域内に到達する再生光のピーク位置が複数となるように、表示すべき目標再生像を構成する各輝点の輝点間隔および初期位相値の双方または何れか一方を設定して、この目標再生像を表示し得るホログラムを空間光変調素子11に呈示させる。このようにすることにより、観察者の眼の瞳に到達する再生光のピーク位置が複数となり得て、観察者の眼の焦点調節機能を有効に働かせることができ、高品質の再生像を表示することができる。また、本実施形態に係る三次元像表示装置は簡易な構成で済む。

【0050】

直接再生像を構成する各輝点の輝点間隔および初期位相値の双方または何れか一方を設定することで、直接再生像の各輝点のうち初期位相値が等しい輝点の間隔を、空間光変調素子11の画素ピッチ p の N 倍（ N は2以上の整数）とする。このとき、近軸領域では、レンズ12の後焦点面上において、 $\lambda f / (Np)$ のピッチで光強度が強くなる。また、観察者の眼の瞳径を d とする。瞳径 d は、一般に個人差があり、しかも、入射光量により異なるが、例えば3mmである。このとき、観察者の眼の瞳に到達する再生光のピーク位置のピッチ（ $\lambda f / (Np)$ ）が瞳半径（ $d/2$ ）より小さければ、観察者の眼の瞳に到達する再生光のピーク位置が複数となる。

【0051】

また、レンズ12の後焦点面において空間光変調素子11での特定次数の回折による再生像を観察し得る幅（ $\lambda f / p$ ）の領域の中に観察者の瞳が存在することが望ましい。以上より、空間光変調素子11の画素ピッチ p 、レンズ12の焦点距離 f 、直接再生像の各輝点のうち初期位相値が等しい輝点の間隔 Np 、照明光波長 λ および観察者の眼の瞳径 d の間に、下記(9)式の関係が成り立つのが好ましい。特に、下記(9)式のうち右側の不等式の関係が満たされることが重要である。

【0052】

【数9】

$$\frac{\lambda \cdot f}{p} > d > \frac{2\lambda \cdot f}{N \cdot p} \quad \dots (9)$$

【0053】

マスク13の開口部13Aの付近に配置された観察者の眼から上記のような表示再生像を見るとき、表示再生像の複数の輝点のうちで上記(5)式中の m の値が0である輝点を見る方位と、該 m 値が N である輝点を見る方位とが、最も視角が大きい。この視角 θ_1 は下記(10)式で表される。

【0054】

【数10】

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{N \cdot p}{f} \right) \quad \dots (10)$$

【0055】

一方、観察者の視力が1.0であるとする、その観察者は、距離10mだけ離れた位置にある大きさ3.0mmの物体を識別することができると言われている。この場合の視角 θ_{\min} は下記(11)式で表される。

【0056】

【数 1 1】

$$\theta_{\min} = \tan^{-1} \left(\frac{3.0}{10000} \right) = 0.017 \text{ deg} \quad \dots (11)$$

【0057】

上記(10)式で表される視角 θ_1 が、上記(11)式で表される視角 θ_{\min} より小さければ、殆どの観察者の眼の分解能を上回る再生像が表示される。すなわち、下記(12)式が満たされるのが好ましい。

【0058】

【数 1 2】

$$\frac{N \cdot p}{f} < \frac{3.0}{10000} \quad \dots (12)$$

【0059】

図 3 は、三次元像表示装置 2 の光学系を説明する図である。この図に示される三次元像表示装置 2 は、空間光変調素子 11、凸レンズ 12、マスク 13、点光源 14 およびハーフミラー 15 を備える。なお、説明の便宜の為に、x y z 直交座標系を設定して、z 軸をレンズ 12 の光軸と一致させる。

【0060】

この三次元像表示装置 2 で用いられる空間光変調素子 11 は反射型のものである。空間光変調素子 11 は、離散的画素構造を有しており、複数の画素が一定ピッチ p で二次元配列されている。空間光変調素子 11 は、x y 平面に平行に配置され、各画素に入射した光の振幅および位相の双方または何れか一方を変調して反射させ、その変調した光を出力する。

【0061】

点光源 14、ハーフミラー 15 およびレンズ 12 は、空間光変調素子 11 に照明光を平行光として入射させる照明光学系を構成している。点光源 14 からハーフミラー 15 を経てレンズ 12 までの光学的距離は、レンズ 12 の焦点距離 f と等しい。点光源 14 から発散して出射された照明光は、ハーフミラー 15 を透過してレンズ 12 に入射し、このレンズ 12 により平行光とされて、空間光変調素子 11 に入射する。

【0062】

レンズ 12 およびハーフミラー 15 は、空間光変調素子 11 から発生した再生光を波面変換して虚像化し再生像を表示する再生像変換光学系を構成している。レンズ 12 からハーフミラー 15 を経てマスク 13 までの光学的距離は、レンズ 12 の焦点距離 f と等しい。空間光変調素子 11 から発生した再生光は、レンズ 12 により波面変換され、ハーフミラー 15 により反射され、レンズ 12 の後焦点面にあるマスク 13 に到達する。マスク 13 の開口部 13A は、特定次数の回折による再生像を観察し得る領域のうち該領域内に到達する再生光のピーク位置を含む部分を透過させる。また、開口部 13A は、0 次光、不要な次数の回折波および共役波を遮断する他、該領域の縁に到達する光線のピーク位置を含む部分を遮断する。

【0063】

空間光変調素子 11 が振幅および位相の双方を変調するものである場合には、共役波が発生しないので、空間光変調素子 11 の全域にホログラムを呈示させることができ、特定次数の回折による再生像を観察し得る領域のサイズを $\lambda f / p \times \lambda f / p$ とする。一方、空間光変調素子 11 が振幅および位相の何れか一方のみを変調するものである場合には、空間光変調素子 11 の半平面のみにホログラムを呈示させて、特定次数の回折による再生像を観察し得る領域のサイズを $\lambda f / p \times \lambda f / (2p)$ とし、マスク 13 により共役波を遮断する。

【0064】

空間光変調素子11の各画素において光の振幅または位相の変調度が設定されることで、空間光変調素子11にホログラムが呈示される。点光源14から出力されハーフミラー15を透過してレンズ12により平行光とされた照明光90は、ホログラムが呈示された空間光変調素子11に対してz軸に平行に入射する。空間光変調素子11に入射した照明光90は、各画素において振幅または位相が変調される。この空間光変調素子11により画素毎に変調されて反射された光すなわち再生光は、直接再生像91を形成する。再生光は、レンズ12により波面変換されて虚像化され、再生像が形成される。そして、マスク13の開口部13Aの付近に眼の瞳を配置した観察者は、この開口部13Aおよびハーフミラー15を通して、表示再生像93を観察することができる。このとき、0次光、不要な次数の回折波および共役波は、マスク13により遮断され、観察者の眼の瞳には入射しない。

【0065】

この図3に示された三次元像表示装置2は、前に図1に示された三次元像表示装置1と比較すると、空間光変調素子11が透過型および反射型の何れであるかの点で相違し、また、これに関連してハーフミラー15の有無の点でも相違する。しかし、これらの点で相違すると雖も、両者は実質的には同一の光学系であると言える。したがって、これまでに三次元像表示装置1（図1）について説明した事項は、三次元像表示装置2（図3）においても同様である。また、以下の説明は、三次元像表示装置1（図1）および三次元像表示装置2（図3）の双方に共通である。

【0066】

また、以下では、空間光変調素子11が振幅および位相の何れか一方のみを変調するものである場合について説明する。空間光変調素子11の画素ピッチ p を $8.1\mu\text{m}$ とし、レンズ12の焦点距離 f を 40mm とし、点光源14をLEDとし、この点光源14から出力される照明光の波長 λ を 650nm とする。また、マスク13の開口部13Aのサイズを、特定次数の回折による再生像を観察し得る領域のサイズと同じく、 $3.2\text{mm}\times 1.6\text{mm}$ とする。以上のような前提の下に、比較例および幾つかの実施例について以下に説明する。

【0067】

初めに、比較例について説明する。図4は、比較例における直接再生像91の輝点間隔を説明する図である。図5は、比較例におけるレンズ12の後焦点面に到達する光のピーク位置を説明する図である。

【0068】

図4は、直接再生像91の一部を光軸方向に見たときのものである。この図4において、空間光変調素子11の各画素の位置に対応する直接再生像91上の位置は、個々の最小単位の四角で示されている。直接再生像91における輝度値を有する輝点71の位置は、黒く塗り潰した四角で示されている。直接再生像91における輝度値分布の1周期分の範囲は、太線の矩形枠で示されている。

【0069】

図5は、レンズ12の後焦点面に配置されたマスク13を光軸方向に見たときのものである。この図5において、観察すべき再生光を透過させる開口部13Aの縁は、実線の矩形枠で示されている。開口部13Aに到達する再生光に対して共役な波面が到達する領域の範囲は、破線の矩形枠で示されている。0次光が到達する位置81は、中央の黒丸で示されている。到達する再生光のピーク位置は、黒丸で示されている。

【0070】

なお、ここで図4および図5の見方について説明した事項は、後に説明する類似の図においても同様である。

【0071】

比較例では、空間光変調素子11から直接的に再生される直接再生像91において輝度値を有する輝点71は、図4に示されるように、x軸方向およびy軸方向それぞれについ

て $2p$ のピッチ（空間光変調素子 11 の画素ピッチ p の 2 倍）で周期的に配置されている。また、これら輝度値を有する輝点 71 の初期位相値は一定である。

【0072】

このとき、レンズ 12 の後焦点面に到達する光のピークは、図 5 に示されるように、 x 軸方向および y 軸方向それぞれについて 1.6 mm ($=\lambda f/(2p)$) のピッチで周期的に位置しており、マスク 13 の開口部 13A の縁に存在するが、開口部 13A 内（縁を除く）には存在しない。したがって、この比較例では、開口部 13A の付近に眼を配置する観察者は、低い空間周波数成分が支配的である再生像を観察することが困難である。

【0073】

次に、第 1 実施例について説明する。図 6 は、第 1 実施例における直接再生像 91 の輝点間隔を説明する図である。図 7 は、第 1 実施例におけるレンズ 12 の後焦点面に到達する光のピーク位置を説明する図である。

【0074】

第 1 実施例では、空間光変調素子 11 から直接的に再生される直接再生像 91 において輝度値を有する輝点 71 は、図 6 に示されるように、 x 軸方向および y 軸方向それぞれについて $4p$ のピッチ（空間光変調素子 11 の画素ピッチ p の 4 倍）で周期的に配置されている。また、これら輝度値を有する輝点 71 の初期位相値は一定である。

【0075】

このとき、第 1 実施例の場合のレンズ 12 の後焦点面に到達する光のピークは、図 7 に示されるように、 x 軸方向および y 軸方向それぞれについて 0.8 mm ($=\lambda f/(4p)$) のピッチで周期的に位置しており、そのうち、3 点の光ピーク位置がマスク 13 の開口部 13A 内（縁を除く）に存在する。この開口部 13A 内の 3 点の光ピーク位置それぞれは、空間光変調素子 11 での特定次数の回折による再生光のピーク位置であって、 x 軸方向に配列されている。これら 3 点の光ピーク位置それぞれの近傍に分布する再生光は、各位置に対応した視差画像成分を含んでいる。

【0076】

したがって、この第 1 実施例では、開口部 13A の付近に眼を配置する観察者は、これら 3 点の光ピーク位置それぞれの近傍に分布する再生光を眼の瞳に同時に入射することで、眼の焦点調節機能を有効に働かせることができる。それ故、眼の焦点が外れている場合には x 軸方向に 3 画像がずれて、 x 軸方向について自然なボケのある再生像を観察することができる。また、低い空間周波数成分が支配的である再生像をも良好に観察することができる。

【0077】

次に、第 2 実施例について説明する。図 8 は、第 2 実施例における直接再生像 91 の輝点間隔を説明する図である。図 9 は、第 2 実施例におけるレンズ 12 の後焦点面に到達する光のピーク位置を説明する図である。

【0078】

第 2 実施例では、空間光変調素子 11 から直接的に再生される直接再生像 91 において輝度値を有する輝点 71 は、図 8 に示されるように、 x 軸方向について $4p$ のピッチ（空間光変調素子 11 の画素ピッチ p の 4 倍）で周期的に配置されており、 y 軸方向について $6p$ のピッチ（空間光変調素子 11 の画素ピッチ p の 6 倍）で周期的に配置されている。また、これら輝度値を有する輝点 71 の初期位相値は一定である。

【0079】

このとき、第 2 実施例の場合のレンズ 12 の後焦点面に到達する光のピークは、図 9 に示されるように、 x 軸方向について 0.8 mm ($=\lambda f/(4p)$) のピッチで周期的に位置し、 y 軸方向について 0.53 mm ($=\lambda f/(6p)$) のピッチで周期的に位置しており、そのうち、6 点の光ピーク位置がマスク 13 の開口部 13A 内（縁を除く）に存在する。この開口部 13A 内の 6 点の光ピーク位置それぞれは、空間光変調素子 11 での特定次数の回折による再生光のピーク位置であって、 x 軸方向に 3 列、 y 軸方向に 2 行、配列されている。これら 6 点の光ピーク位置それぞれの近傍に分布する再生光は、各位置に対

応した視差画像成分を含んでいる。

【0080】

したがって、この第2実施例では、開口部13Aの付近に眼を配置する観察者は、これら6点の光ピーク位置それぞれの近傍に分布する再生光を眼の瞳に同時に入射することで、眼の焦点調節機能を有効に働かせることができる。それ故、眼の焦点が外れている場合には、x軸方向に3画像がずれ、y軸方向に2画像がずれて、x軸方向およびy軸方向の双方について自然なボケのある再生像を観察することができる。また、低い空間周波数成分が支配的である再生像をも良好に観察することができる。

【0081】

次に、第3実施例について説明する。図10は、第3実施例における直接再生像91の輝点間隔および初期位相値を説明する図である。

【0082】

この図10の見方は、図4等の場合と同様である。加えて、直接再生像91における輝度値を有する輝点71の初期位相値が、黒く塗り潰した四角の中の数字で示されている。数字「0」は初期位相値の基準値を示し、数字「1」は初期位相値が「基準値+ $\pi/2$ 」であることを示し、数字「2」は初期位相値が「基準値+ π 」であることを示し、また、数字「3」は初期位相値が「基準値+ $3\pi/2$ 」であることを示す。

【0083】

第3実施例では、空間光変調素子11から直接的に再生される直接再生像91において輝度値を有する輝点71は、比較例と同様に、x軸方向およびy軸方向それぞれについて2pのピッチ（空間光変調素子11の画素ピッチpの2倍）で周期的に配置されている。また、輝度値を有する輝点71の初期位相値は、x軸方向およびy軸方向それぞれについて4pのピッチ（空間光変調素子11の画素ピッチpの4倍）で周期的に設定されている。太線の矩形枠で示されている初期位相値分布の1周期分の範囲では、輝度値を有する輝点71の初期位相値は互いに異なる。

【0084】

このとき、レンズ12の後焦点面に到達する光のピークの配置の周期性は、直接再生像91における輝点71の配置および初期位相値の双方を総合した周期性を反映したものとなる。すなわち、第3実施例の場合のレンズ12の後焦点面に到達する光のピークは、前述の図7に示された第1実施例の場合と同様に、x軸方向およびy軸方向それぞれについて $0.8\text{ mm} (= \lambda f / (4p))$ のピッチで周期的に位置しており、そのうち、3点の光ピーク位置がマスク13の開口部13A内（縁を除く）に存在する。この開口部13A内の3点の光ピーク位置それぞれは、空間光変調素子11での特定次数の回折による再生光のピーク位置であって、x軸方向に配列されている。これら3点の光ピーク位置それぞれの近傍に分布する再生光は、各位置に対応した視差画像成分を含んでいる。

【0085】

したがって、この第3実施例では、開口部13Aの付近に眼を配置する観察者は、これら3点の光ピーク位置それぞれの近傍に分布する再生光を眼の瞳に同時に入射することで、眼の焦点調節機能を有効に働かせることができる。それ故、眼の焦点が外れている場合にはx軸方向に3画像がずれて、x軸方向について自然なボケのある再生像を観察することができる。また、低い空間周波数成分が支配的である再生像をも良好に観察することができる。

【0086】

さらに、第1実施例の場合と比較すると、この第3実施例では、3点の光ピーク位置がマスク13の開口部13A内（縁を除く）に存在する点で同じである一方で、直接再生像91における輝度値を有する輝点71の個数が4倍であるので、観察者は高解像度で明るい再生像を観察することができる。

【0087】

次に、第4実施例について説明する。図11は、第4実施例における直接再生像91の輝点間隔および初期位相値を説明する図である。

【0088】

この図11の見方は、図4等の場合と同様である。加えて、直接再生像91における輝度値を有する輝点71の初期位相値が、黒く塗り潰した四角の中の数字で示されている。数字「0」は初期位相値の基準値を示し、数字「1」は初期位相値が「基準値 $+\pi/3$ 」であることを示し、数字「2」は初期位相値が「基準値 $+2\pi/3$ 」であることを示し、数字「3」は初期位相値が「基準値 $+\pi$ 」であることを示し、数字「3」は初期位相値が「基準値 $+4\pi/3$ 」であることを示し、また、数字「3」は初期位相値が「基準値 $+5\pi/3$ 」であることを示す。

【0089】

第4実施例では、空間光変調素子11から直接的に再生される直接再生像91において輝度値を有する輝点71は、比較例と同様に、x軸方向およびy軸方向それぞれについて2pのピッチ（空間光変調素子11の画素ピッチpの2倍）で周期的に配置されている。また、輝度値を有する輝点71の初期位相値は、x軸方向について4pのピッチ（空間光変調素子11の画素ピッチpの4倍）で周期的に設定されており、y軸方向について6pのピッチ（空間光変調素子11の画素ピッチpの6倍）で周期的に設定されている。太線の矩形枠で示されている初期位相値分布の1周期分の範囲では、輝度値を有する輝点71の初期位相値は互いに異なる。

【0090】

このとき、レンズ12の後焦点面に到達する光のピークの配置の周期性は、直接再生像91における輝点71の配置および初期位相値の双方を総合した周期性を反映したものとなる。すなわち、第4実施例の場合のレンズ12の後焦点面に到達する光のピークは、前述の図9に示された第2実施例の場合と同様に、x軸方向について $0.8\text{ mm} (= \lambda f / (4p))$ のピッチで周期的に位置し、y軸方向について $0.53\text{ mm} (= \lambda f / (6p))$ のピッチで周期的に位置しており、そのうち、6点の光ピーク位置がマスク13の開口部13A内（縁を除く）に存在する。この開口部13A内の6点の光ピーク位置それぞれは、空間光変調素子11での特定次数の回折による再生光のピーク位置であって、x軸方向に3列、y軸方向に2行、配列されている。これら6点の光ピーク位置それぞれの近傍に分布する再生光は、各位置に対応した視差画像成分を含んでいる。

【0091】

したがって、この第4実施例では、開口部13Aの付近に眼を配置する観察者は、これら6点の光ピーク位置それぞれの近傍に分布する再生光を眼の瞳に同時に入射することで、眼の焦点調節機能を有効に働かせることができる。それ故、眼の焦点が外れている場合には、x軸方向に3画像がずれ、y軸方向に2画像がずれて、x軸方向およびy軸方向の双方について自然なボケのある再生像を観察することができる。また、低い空間周波数成分が支配的である再生像をも良好に観察することができる。

【0092】

さらに、第2実施例の場合と比較すると、この第4実施例では、6点の光ピーク位置がマスク13の開口部13A内（縁を除く）に存在する点で同じである一方で、直接再生像91における輝度値を有する輝点71の個数が6倍であるので、観察者は高解像度で明るい再生像を観察することができる。

【0093】

次に、第5実施例について説明する。図12は、第5実施例における直接再生像91の輝点間隔および初期位相値を説明する図である。図13は、第5実施例におけるレンズ12の後焦点面に到達する光のピーク位置を説明する図である。

【0094】

この図12の見方は、図4等の場合と同様である。加えて、直接再生像91における輝度値を有する輝点71の初期位相値が、黒く塗り潰した四角の中の数字で示されている。数字「0」は初期位相値の基準値を示し、数字「1」は初期位相値が「基準値 $+\pi/2$ 」であることを示し、数字「2」は初期位相値が「基準値 $+\pi$ 」であることを示し、また、数字「3」は初期位相値が「基準値 $+3\pi/2$ 」であることを示す。

【0095】

第5実施例では、空間光変調素子11から直接的に再生される直接再生像91において輝度値を有する輝点71は、比較例と同様に、x軸方向およびy軸方向それぞれについて2pのピッチ（空間光変調素子11の画素ピッチpの2倍）で周期的に配置されている。また、輝度値を有する輝点71の初期位相値は、x軸方向について4pのピッチで周期的に設定されており、y軸方向について8pのピッチで周期的に設定されており、また、ベクトル（±2p, ±4p）の方向についても $2\sqrt{2}p$ （ $=((2p)^2+(4p)^2)^{1/2}$ ）のピッチで周期的に設定されている。太線の矩形枠で示されている初期位相値分布の1周期分の範囲では、輝度値を有する輝点71は、初期位相値が同一のものが2つずつ存在する。

【0096】

このとき、レンズ12の後焦点面に到達する光のピークの配置の周期性は、直接再生像91における輝点71の配置および初期位相値の双方を総合した周期性を反映したものとなる。すなわち、第5実施例の場合のレンズ12の後焦点面に到達する光のピークは、図13に示されるように、x軸方向について1.6mm（ $=\lambda f/(4p)$ ）のピッチで周期的に位置し、y軸方向について0.8mm（ $=\lambda f/(8p)$ ）のピッチで周期的に位置し、また、ベクトル（±2, ±1）の方向についても0.89mm（ $=((0.8)^2+(0.4)^2)^{1/2}$ ）のピッチで周期的に位置する。そのうち、5点の光ピーク位置がマスク13の開口部13A内（縁を除く）に存在する。この開口部13A内の5点の光ピーク位置それぞれは、空間光変調素子11での特定次数の回折による再生光のピーク位置であって、開口部13Aの中央にある光ピーク位置82の周囲を他の4点の光ピーク位置が取り囲んでいる。これら5点の光ピーク位置それぞれの近傍に分布する再生光は、各位置に対応した視差画像成分を含んでいる。

【0097】

したがって、この第5実施例では、開口部13Aの付近に眼を配置する観察者は、これら5点の光ピーク位置それぞれの近傍に分布する再生光を眼の瞳に同時に入射することで、眼の焦点調節機能を有効に働かせることができる。それ故、眼の焦点が外れている場合には、x軸方向およびy軸方向の双方について自然なボケのある再生像を観察することができる。また、低い空間周波数成分が支配的である再生像をも良好に観察することができる。また、第1実施例の場合と比較すると、直接再生像91における輝度値を有する輝点71の個数が4倍であるので、観察者は高解像度で明るい再生像を観察することができる。

【0098】

次に、第6実施例について説明する。第6実施例では、目標再生像91を構成する各輝点71の初期位相値を時間的に変化させる。具体的には、既に図10に示した直接再生像91の輝点間隔および初期位相値の分布と、図14に示した直接再生像91の輝点間隔および初期位相値の分布とを、時間的に交互に設定する。一方の分布に対して、他方の分布はx軸方向に距離2pだけ平行移動したものに相当する。

【0099】

或いは、図12に示した直接再生像91の輝点間隔および初期位相値の分布と、図15に示した直接再生像91の輝点間隔および初期位相値の分布と、図16に示した直接再生像91の輝点間隔および初期位相値の分布と、図17に示した直接再生像91の輝点間隔および初期位相値の分布とを、時間的に順次に繰り返して設定する。このようにすることにより、より鮮明な再生像が表示され得る。或る1つの分布に対して、他の分布は、x軸方向に距離2pだけ平行移動したもの、y軸方向に距離2pだけ平行移動したもの、x軸方向およびy軸方向それぞれに距離2pだけ平行移動したものの、の何れかに相当する。

【0100】

図10に示した直接再生像91の輝点間隔および初期位相値の分布のみを設定した場合、或いは、図12に示した直接再生像91の輝点間隔および初期位相値の分布のみを設定した場合には、空間光変調素子11に照射される照明光がコヒーレント光であることから、マスク13の開口部13Aで観察される再生像には、周期構造を有する干渉縞パターン

が重畳される。このことから、観察される再生像の画素数が減少する。

【0101】

しかし、この第6実施例では、図10および図14それぞれに示した直接再生像91の輝点間隔および初期位相値の分布を時間的に交互に設定することにより、或いは、図12および図15～図17それぞれに示した直接再生像91の輝点間隔および初期位相値の分布を時間的に順次に繰り返して設定することにより、再生像に重畳される干渉縞パターンは、各時点での初期位相値分布に応じたものとなり、時間的に相殺される。このことから、干渉縞パターンの影響が低減されて、より鮮明な再生像が表示され得る。

【0102】

次に、第7実施例について説明する。第7実施例では、これまでに説明した比較例および各実施例と比較して、レンズ12の焦点距離 f を120mmとする点で異なる。この場合、マスク13の開口部13Aのサイズは、特定次数の回折による再生像を観察し得る領域のサイズと同じく、 $9.6\text{mm} \times 4.8\text{mm}$ となる。観察者の眼の瞳径が3mm程度であるから、マスク13の開口部13Aのサイズより観察者の眼の瞳径が小さい。このような場合にも、複数の光ピーク位置それぞれの近傍に分布する再生光を眼の瞳に同時に入射することが必要である。

【0103】

そこで、第7実施例では、空間光変調素子11から直接的に再生される直接再生像91において輝度値を有する輝点71は、 x 軸方向および y 軸方向それぞれについて4pのピッチ（空間光変調素子11の画素ピッチ p の4倍）で周期的に配置される。また、これら輝度値を有する輝点71の初期位相値は、 x 軸方向および y 軸方向それぞれについて8pのピッチ（空間光変調素子11の画素ピッチ p の8倍）で周期的に配置される。

【0104】

このとき、第7実施例の場合のレンズ12の後焦点面に到達する光のピークは、図18に示されるように、 x 軸方向および y 軸方向それぞれについて 1.2mm （ $=\lambda f/(8p)$ ）のピッチで周期的に位置しており、そのうち、21点の光ピーク位置がマスク13の開口部13A内（縁を除く）に存在する。この開口部13A内の21点の光ピーク位置それぞれは、空間光変調素子11での特定次数の回折による再生光のピーク位置であって、 x 軸方向に7列、 y 軸方向に3行、配列されている。これら21点の光ピーク位置それぞれの近傍に分布する再生光は、各位置に対応した視差画像成分を含んでいる。

【0105】

したがって、この第7実施例では、開口部13Aの付近に眼を配置する観察者は、上記21点のうち5点の光ピーク位置それぞれの近傍に分布する再生光を眼の瞳（図中の破線の円）に同時に入射することで、眼の焦点調節機能を有効に働かせることができる。それ故、眼の焦点が外れている場合には、 x 軸方向および y 軸方向の双方について自然なボケのある再生像を観察することができる。また、低い空間周波数成分が支配的である再生像をも良好に観察することができる。

【0106】

次に、第8実施例について説明する。第8実施例では、これまでに説明した各実施例と比較して、マスク13の開口部13Aの形状に特徴を有している。本実施例におけるマスク13は、特定次数の回折による再生像を観察し得る領域（ $\lambda f/p$, $\lambda f/(2p)$ ）のうち該領域内に到達する再生光のピーク位置を含む部分を透過させる一方、0次光、不要な次数の回折波および共役波を遮断するとともに、該領域の縁に到達する光線のピーク位置を含む部分を遮断するというだけでなく、該領域内に到達する特定次数以外の他の次数の回折による再生光を遮断する。

【0107】

例えば、既に説明した第5実施例（図12, 図13）の如く、特定次数の回折による再生像を観察し得る領域（縁を除く）に5点の光ピーク位置が存在する場合、図19に示されるように、それら5点それぞれを中心とする円形領域を開口部13Aとする。或いは、図20に示されるように、それら5点それぞれを中心とする菱形領域（隣合う2つの菱形

が互いに接していてもよい) を開口部 13A とする。

【0108】

このような開口部 13A の形状とすることにより、領域 ($\lambda f / p$, $\lambda f / (2p)$) のうち該領域の縁に到達する光線のピーク位置の周辺の特定次数以外の他の次数の回折による再生光が遮断されて、より鮮明な再生像が観察され得る。

【図面の簡単な説明】

【0109】

【図1】 三次元像表示装置 1 の光学系および動作を説明する図である。

【図2】 三次元像表示装置 1 から空間光変調素子 11 およびレンズ 12 を除いた光学系を説明する図である。

【図3】 三次元像表示装置 2 の光学系を説明する図である。

【図4】 比較例における直接再生像 91 の輝点間隔を説明する図である。

【図5】 比較例におけるレンズ 12 の後焦点面に到達する光のピーク位置を説明する図である。

【図6】 第1実施例における直接再生像 91 の輝点間隔を説明する図である。

【図7】 第1実施例におけるレンズ 12 の後焦点面に到達する光のピーク位置を説明する図である。

【図8】 第2実施例における直接再生像 91 の輝点間隔を説明する図である。

【図9】 第2実施例におけるレンズ 12 の後焦点面に到達する光のピーク位置を説明する図である。

【図10】 第3実施例における直接再生像 91 の輝点間隔および初期位相値を説明する図である。

【図11】 第4実施例における直接再生像 91 の輝点間隔および初期位相値を説明する図である。

【図12】 第5実施例における直接再生像 91 の輝点間隔および初期位相値を説明する図である。

【図13】 第5実施例におけるレンズ 12 の後焦点面に到達する光のピーク位置を説明する図である。

【図14】 第6実施例における直接再生像 91 の輝点間隔および初期位相値を説明する図である。

【図15】 第6実施例における直接再生像 91 の輝点間隔および初期位相値を説明する図である。

【図16】 第6実施例における直接再生像 91 の輝点間隔および初期位相値を説明する図である。

【図17】 第6実施例における直接再生像 91 の輝点間隔および初期位相値を説明する図である。

【図18】 第7実施例におけるレンズ 12 の後焦点面に到達する光のピーク位置を説明する図である。

【図19】 第8実施例におけるレンズ 12 の後焦点面に到達する光のピーク位置およびマスク 13 の開口部 13A の形状を説明する図である。

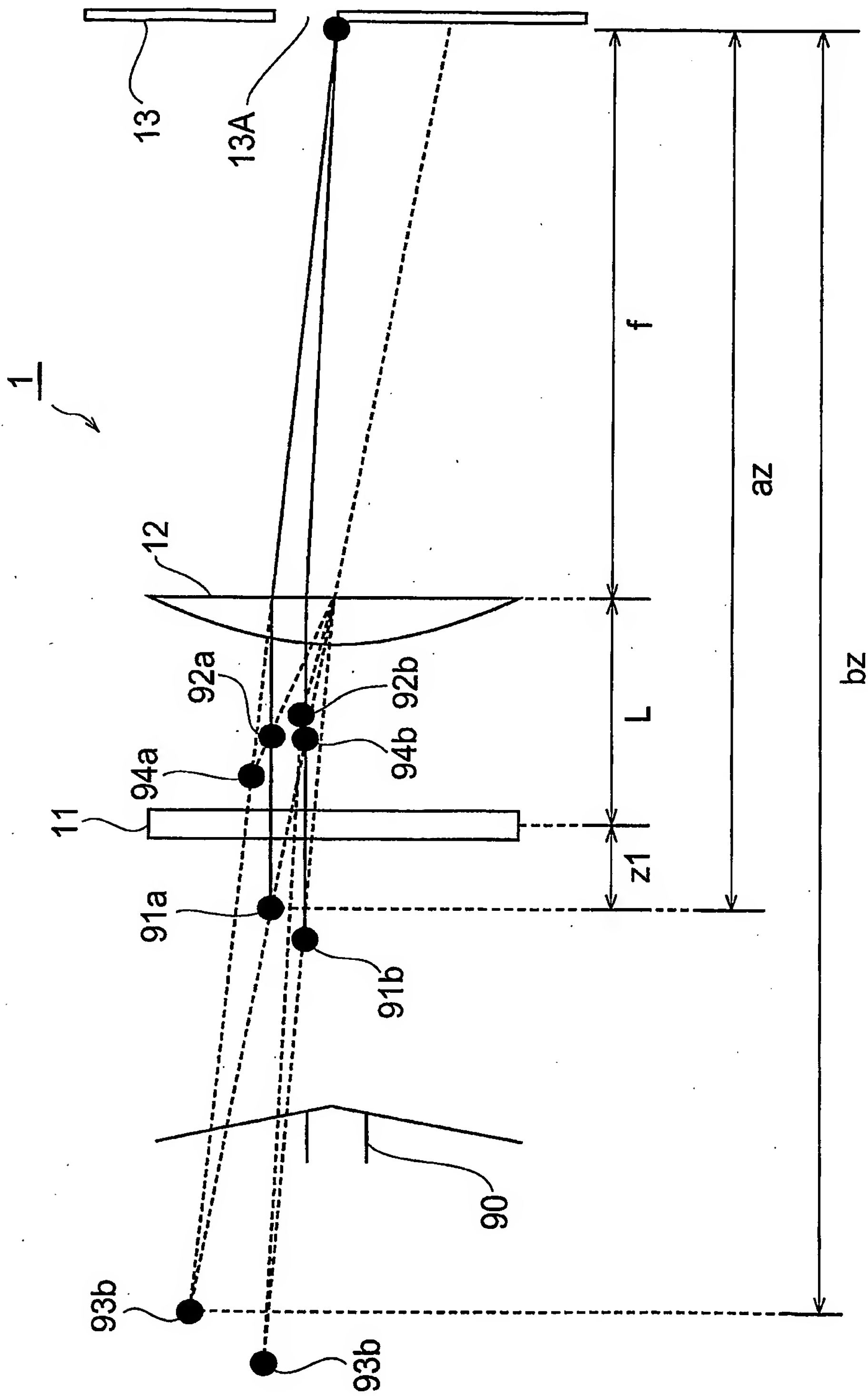
【図20】 第8実施例におけるレンズ 12 の後焦点面に到達する光のピーク位置およびマスク 13 の開口部 13A の形状を説明する図である。

【符号の説明】

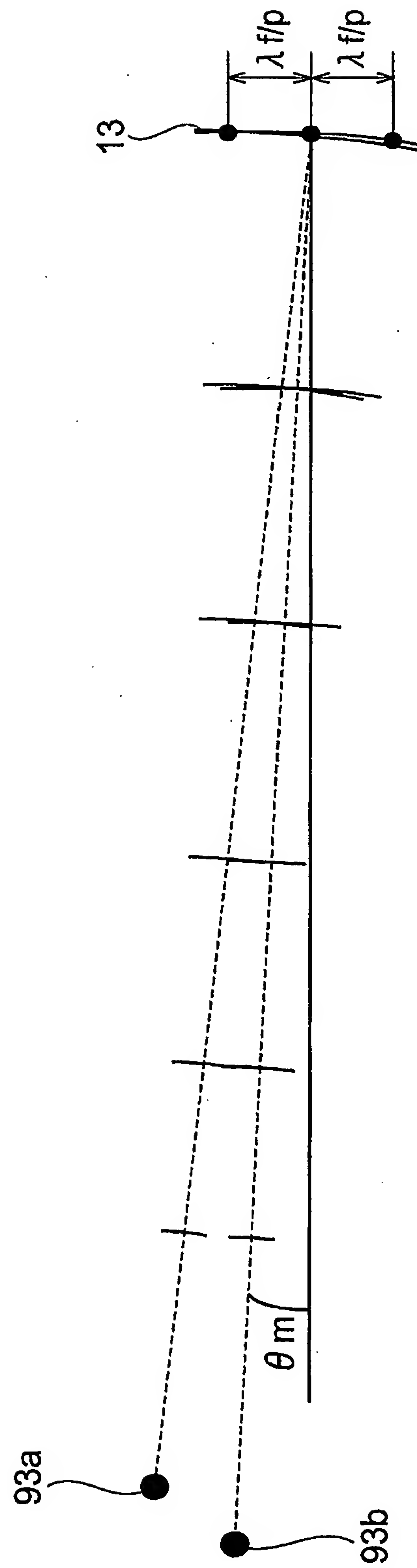
【0110】

1, 2…三次元像表示装置、11…空間光変調素子、12…凸レンズ (再生像変換光学系)、13…マスク、13A…開口部、14…点光源、15…ハーフミラー、71…輝点、81…0次光到達位置、91…直接再生像、93…表示再生像。

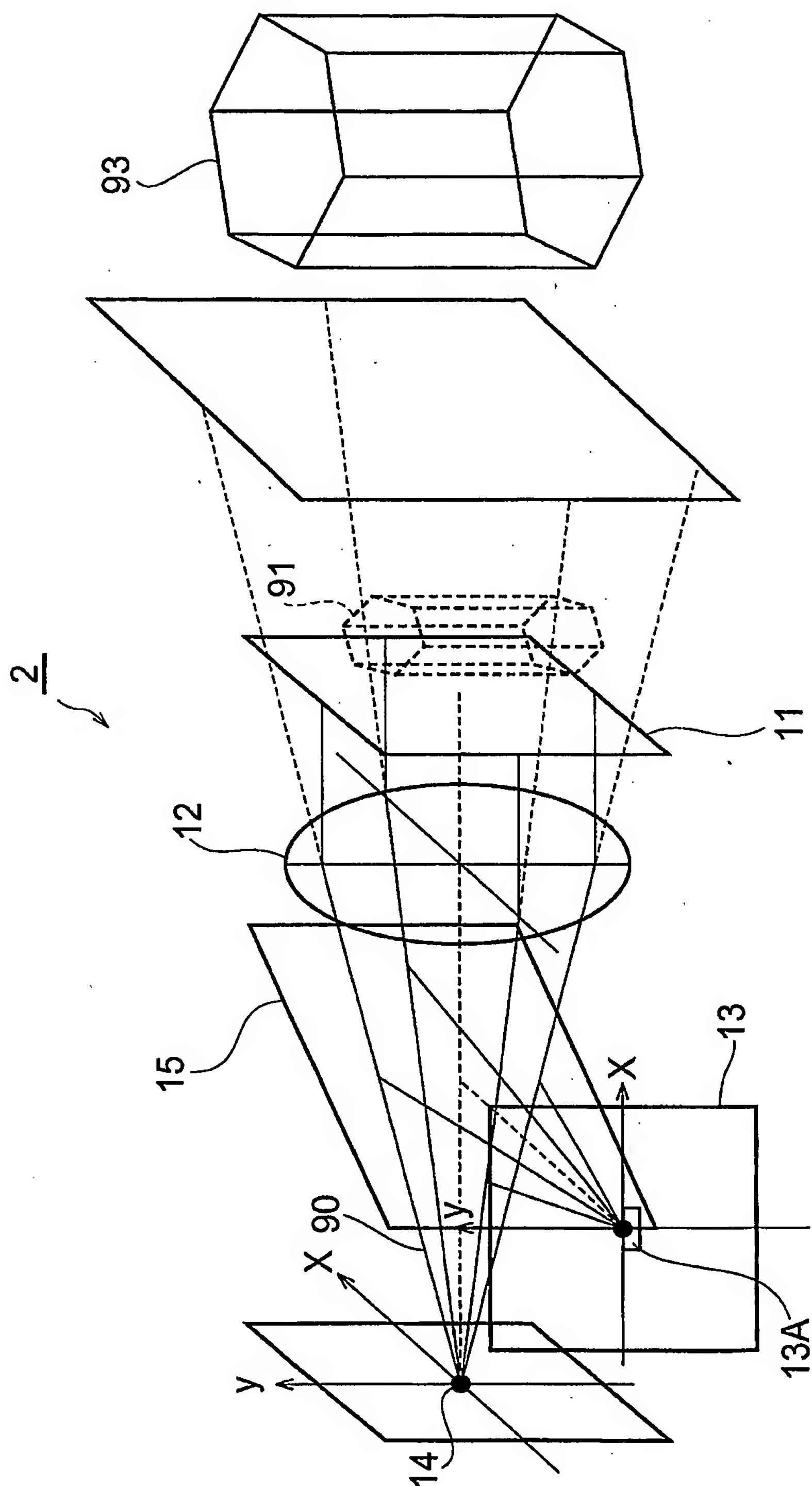
【書類名】 図面
【図 1】



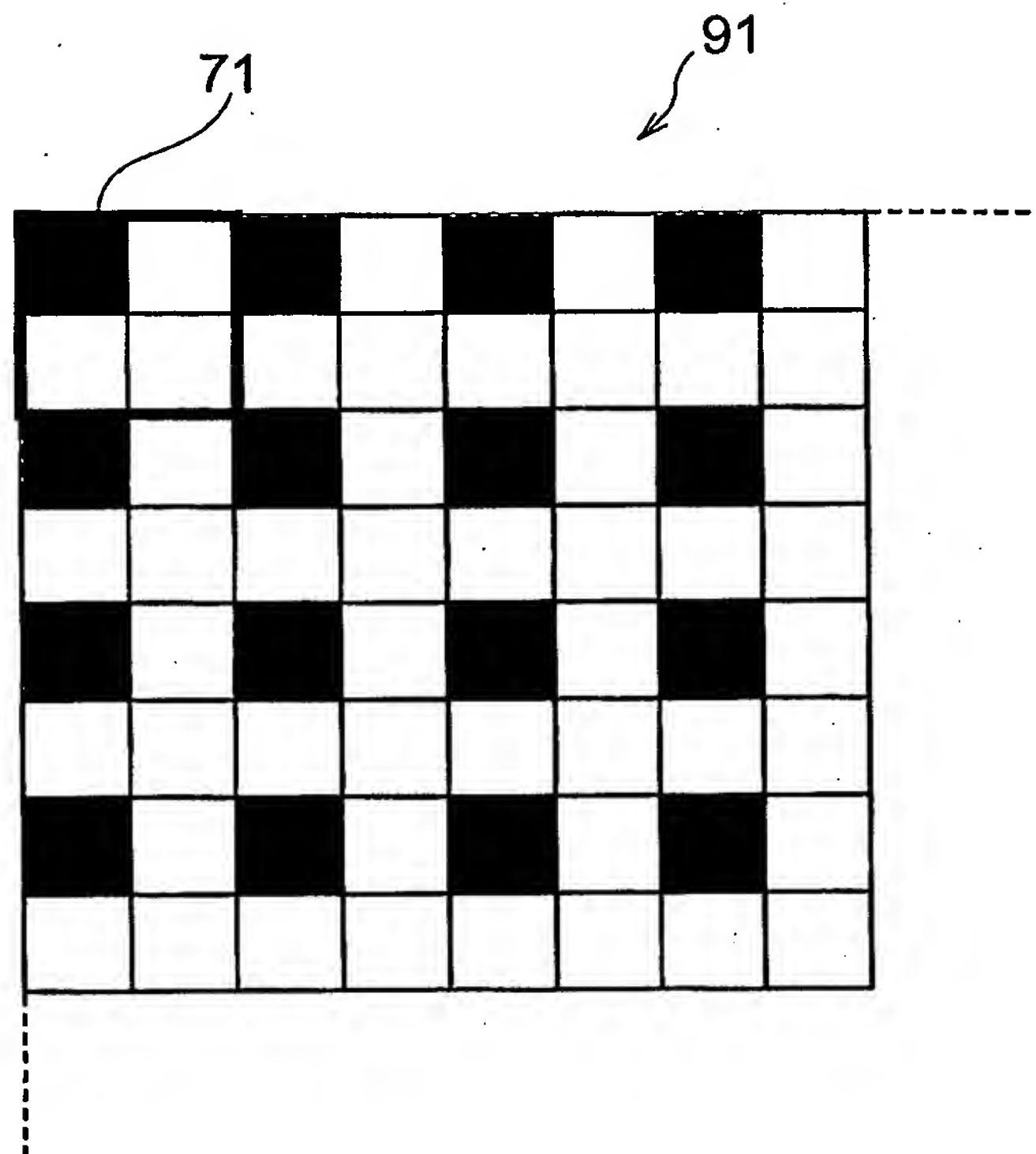
【図 2】



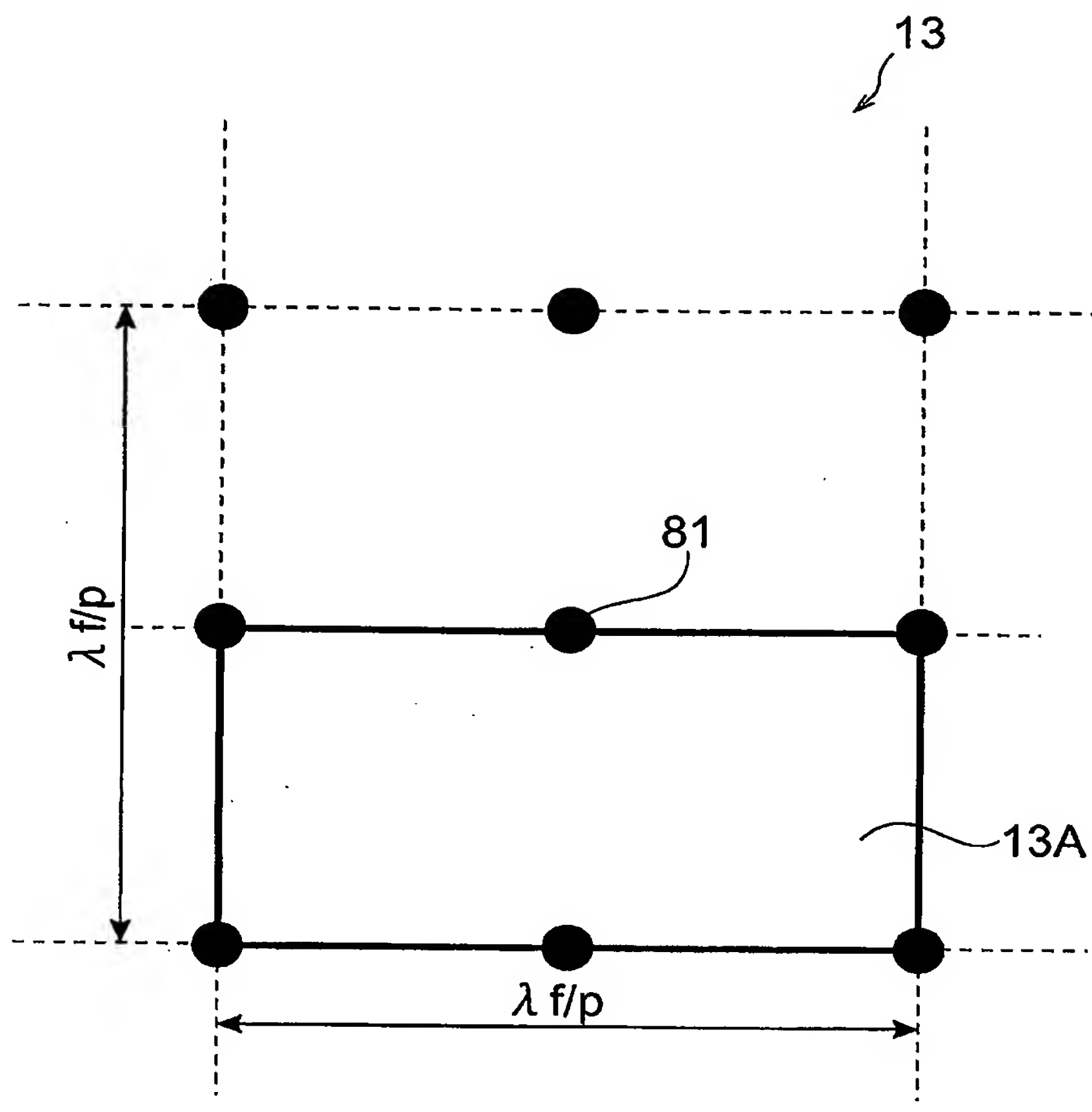
【図 3】



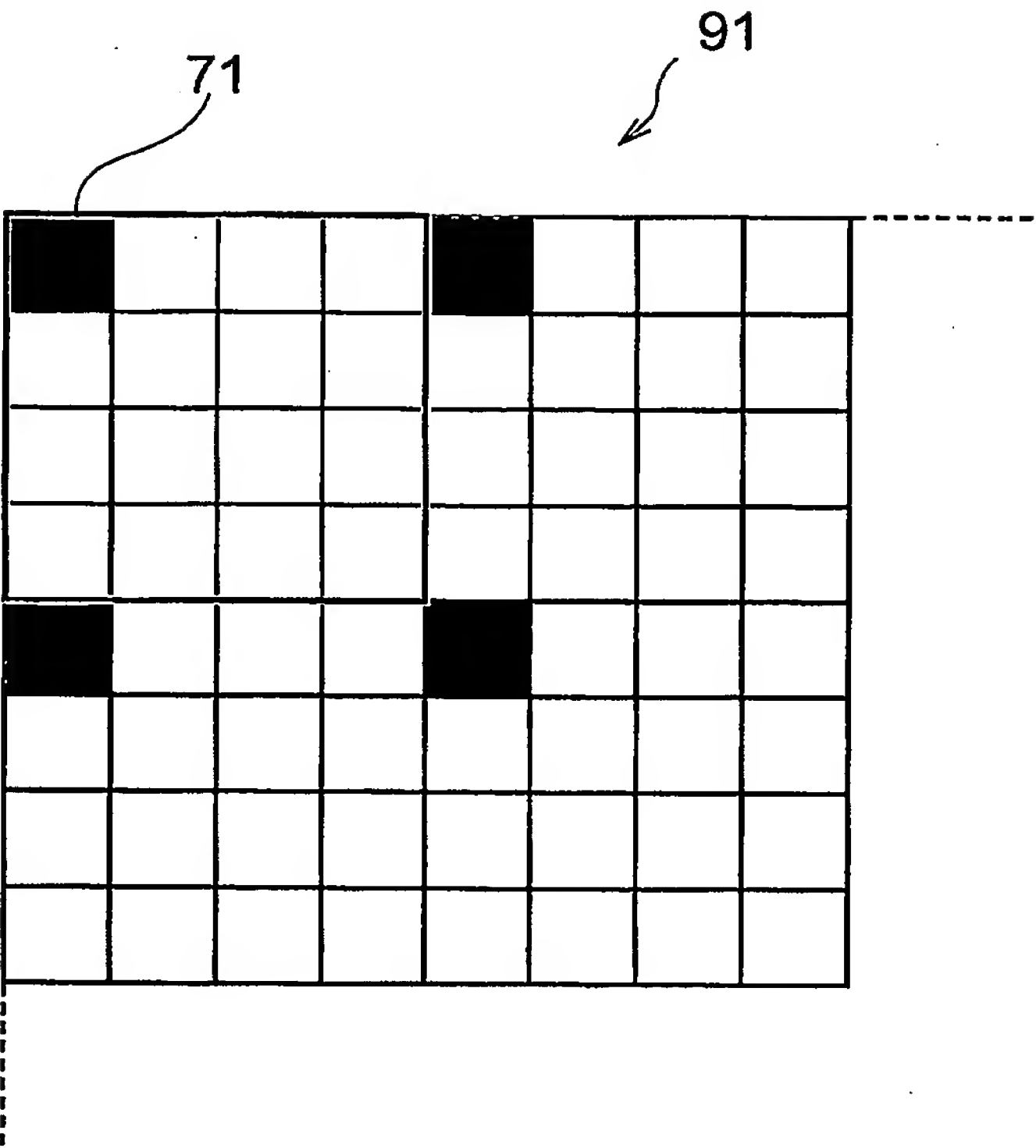
【図 4】



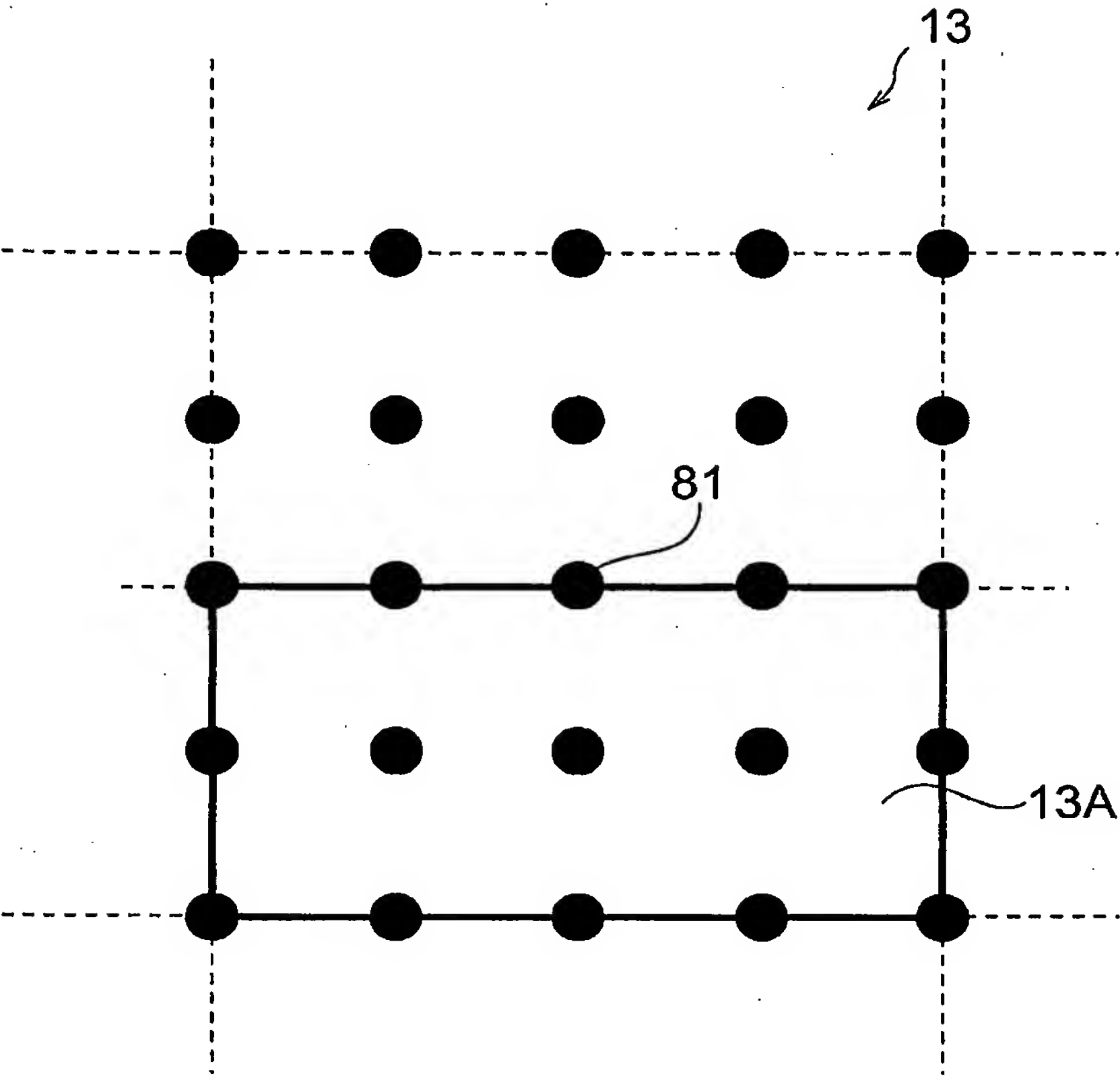
【図 5】



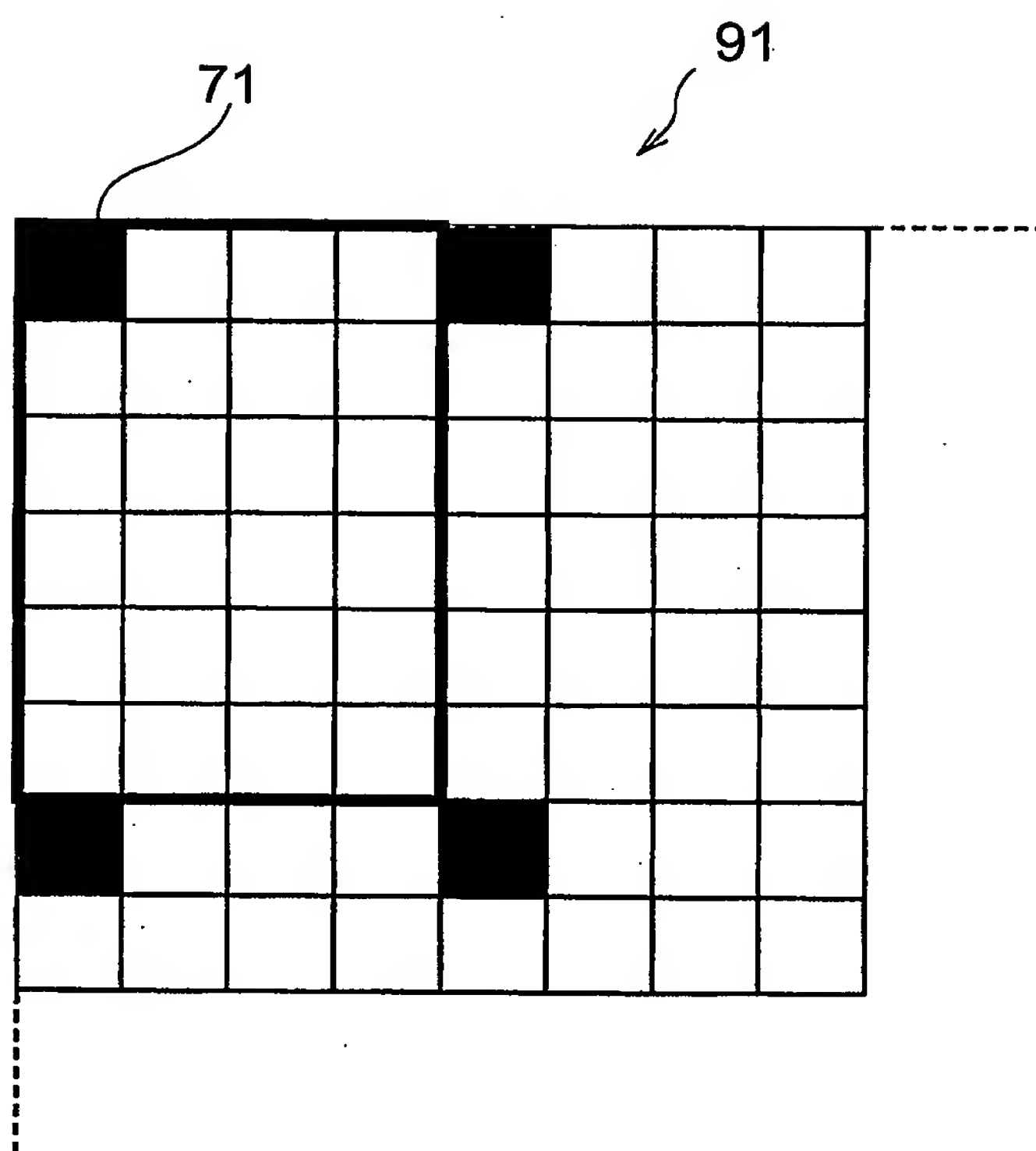
【図 6】



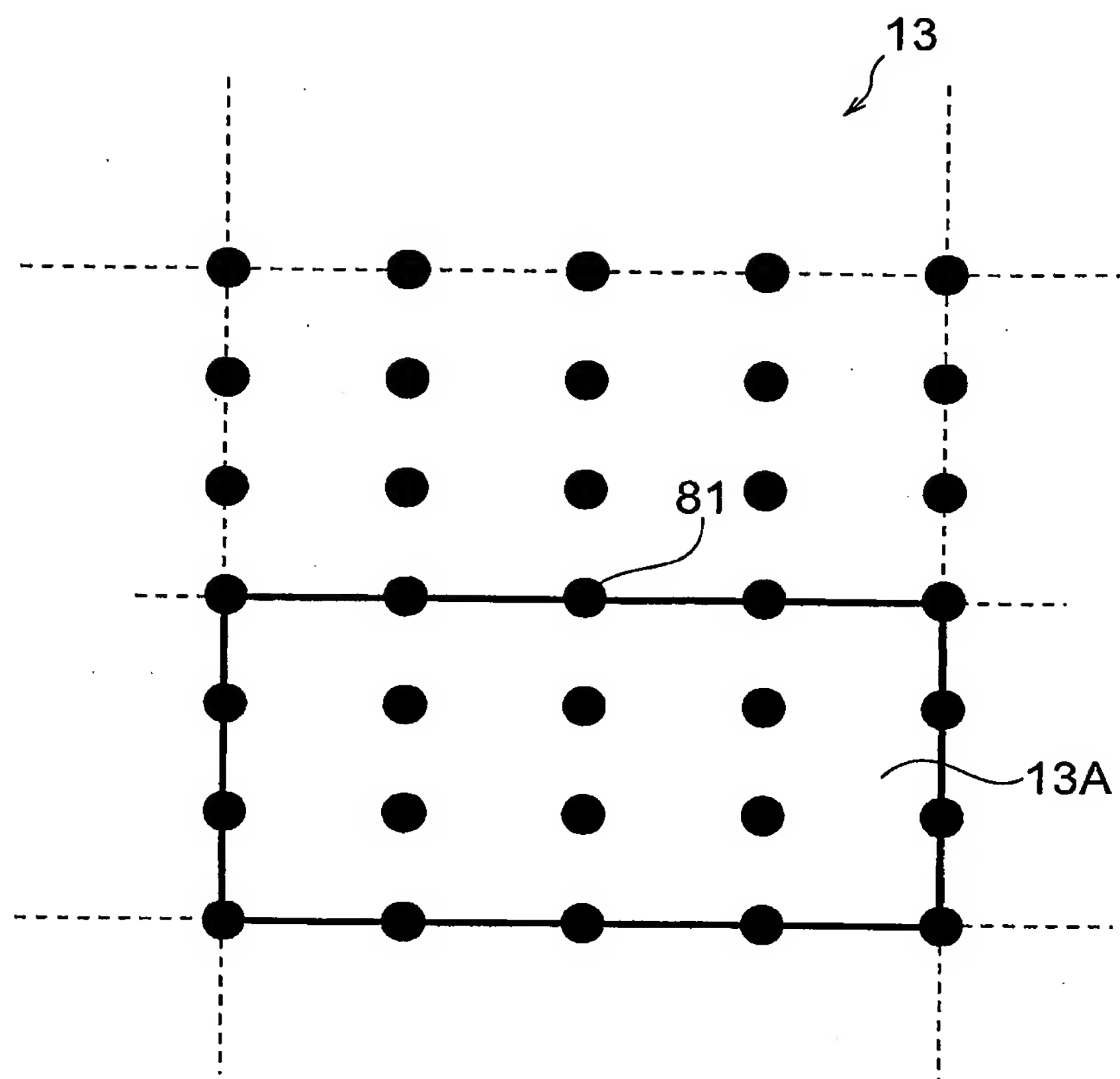
【図 7】



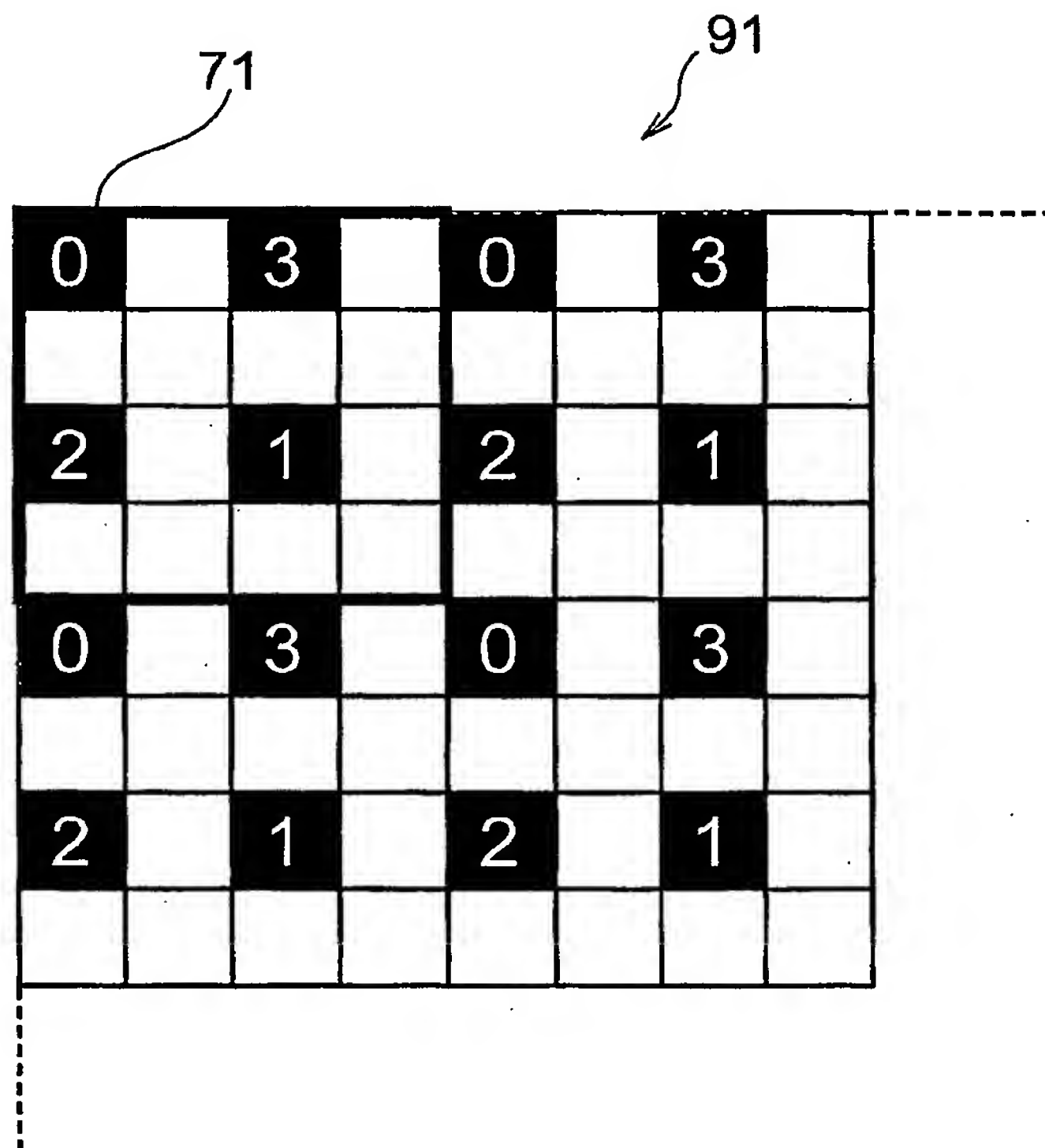
【図 8】



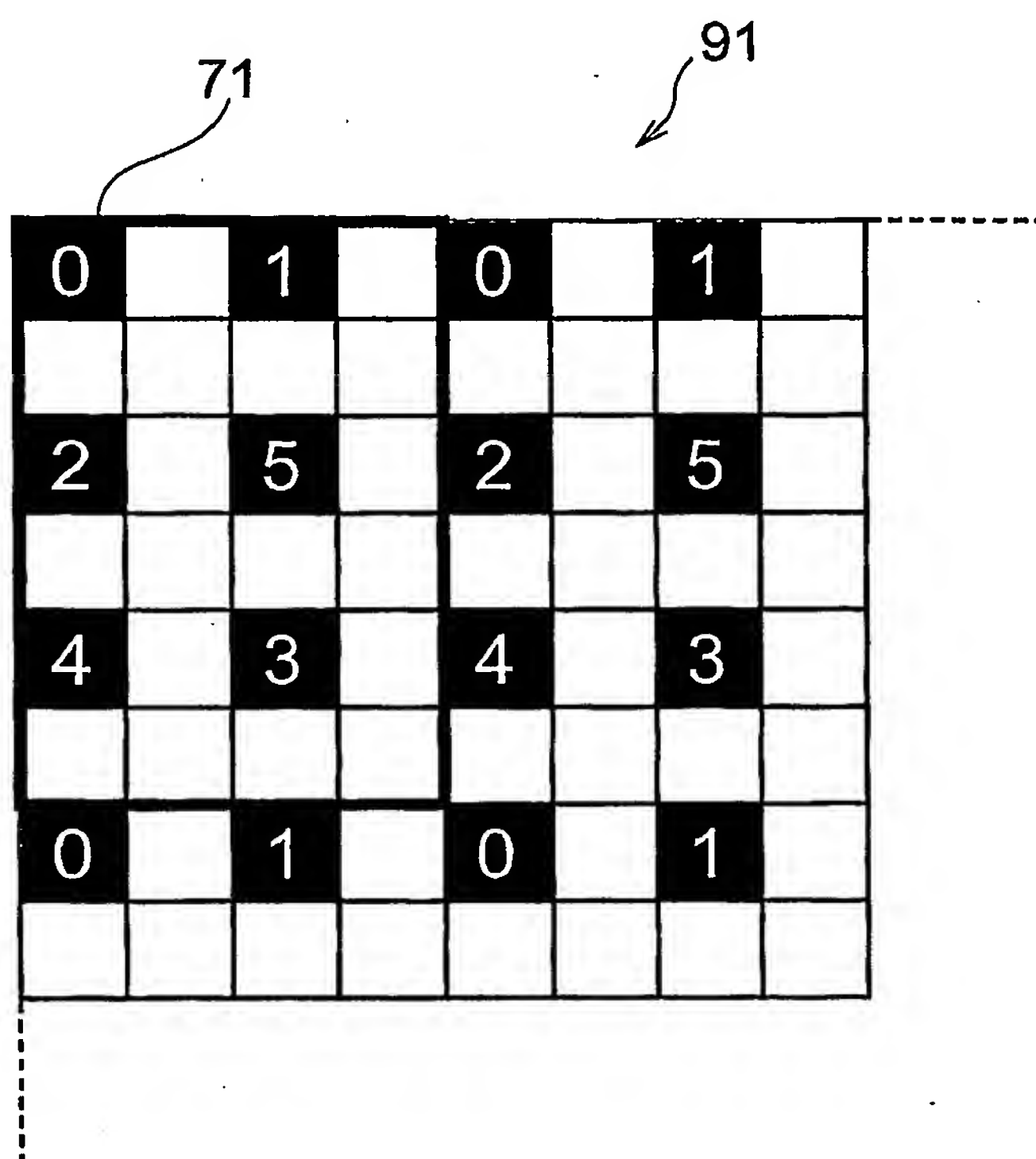
【図 9】



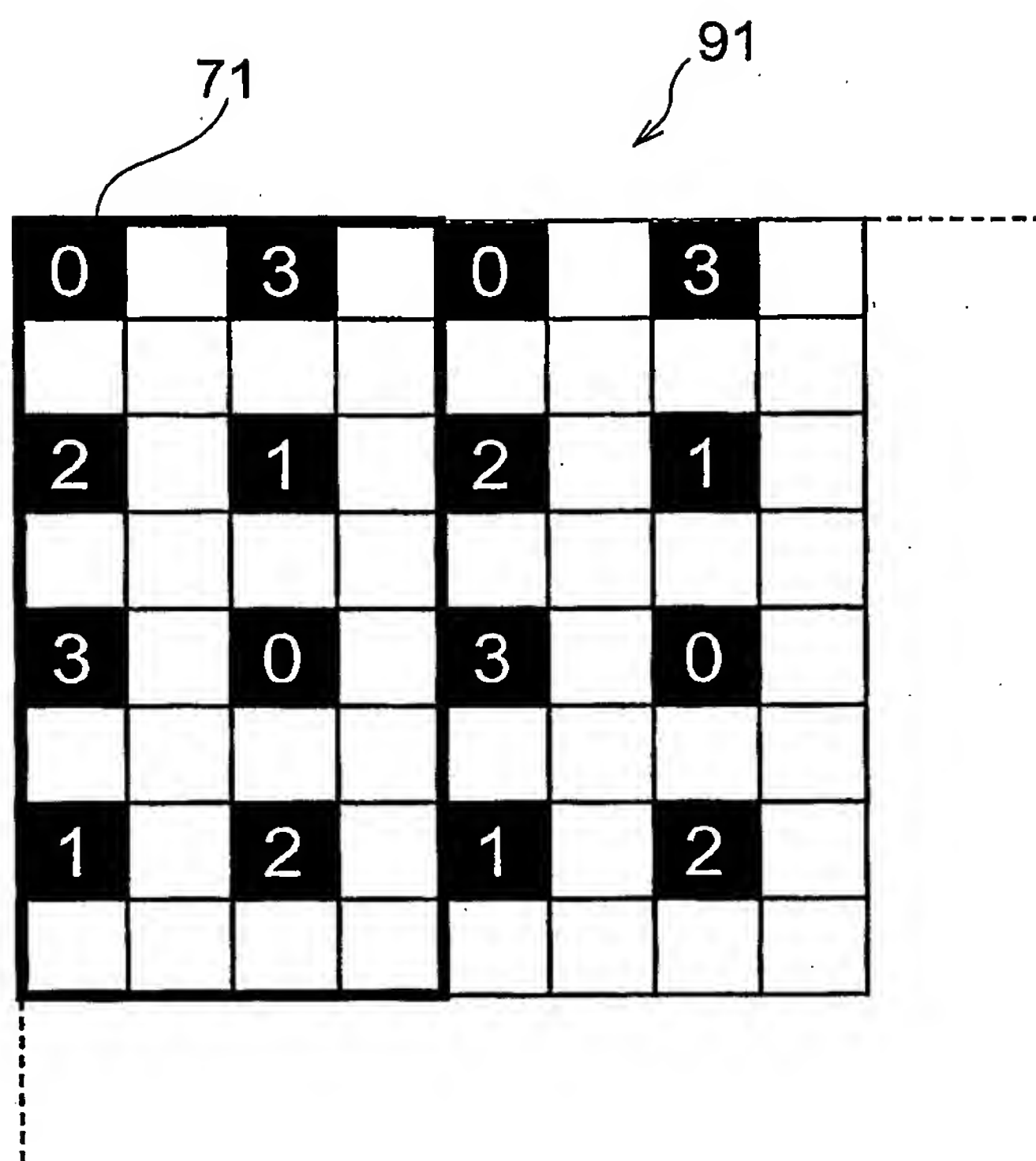
【図 10】



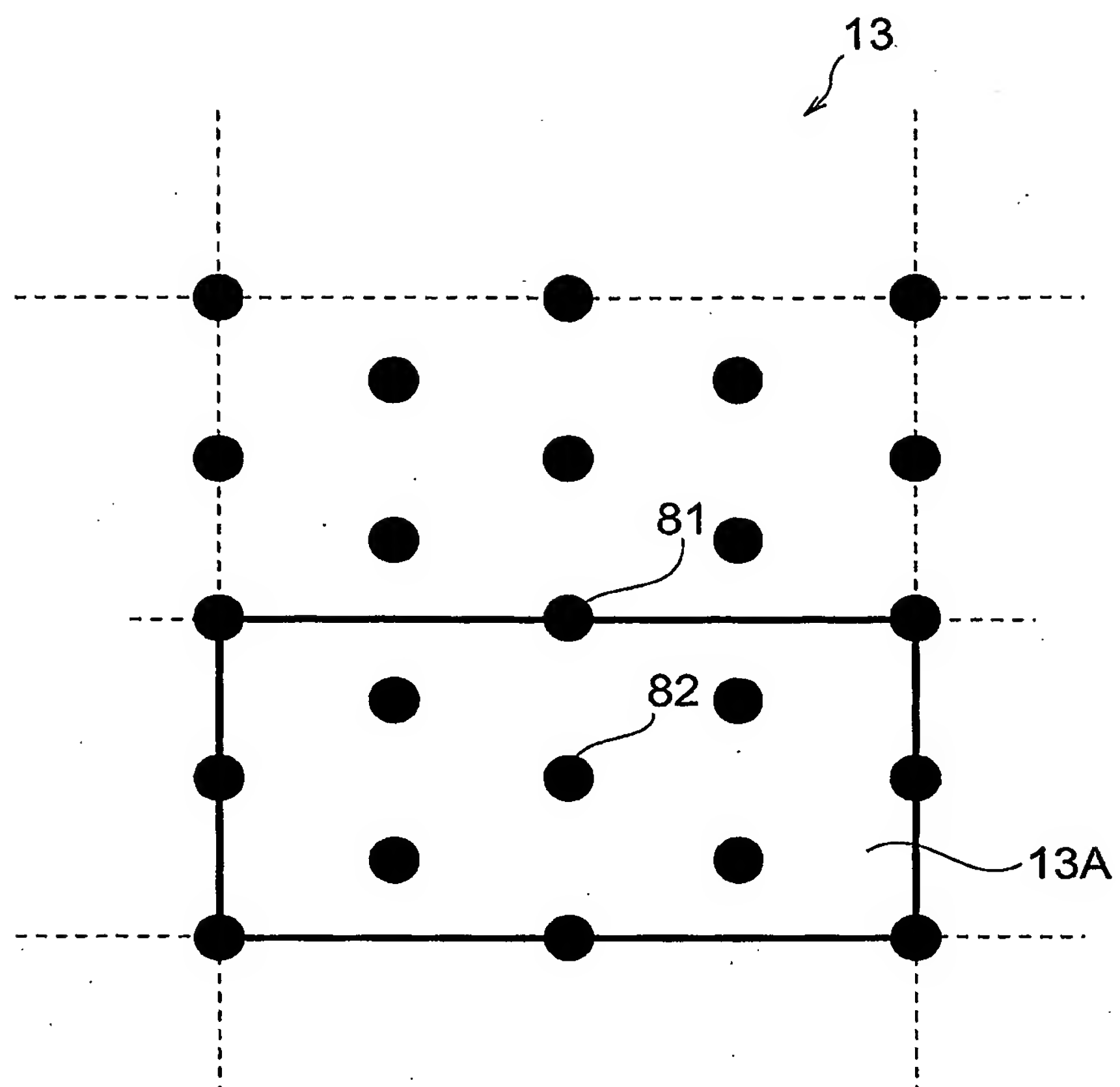
【図 11】



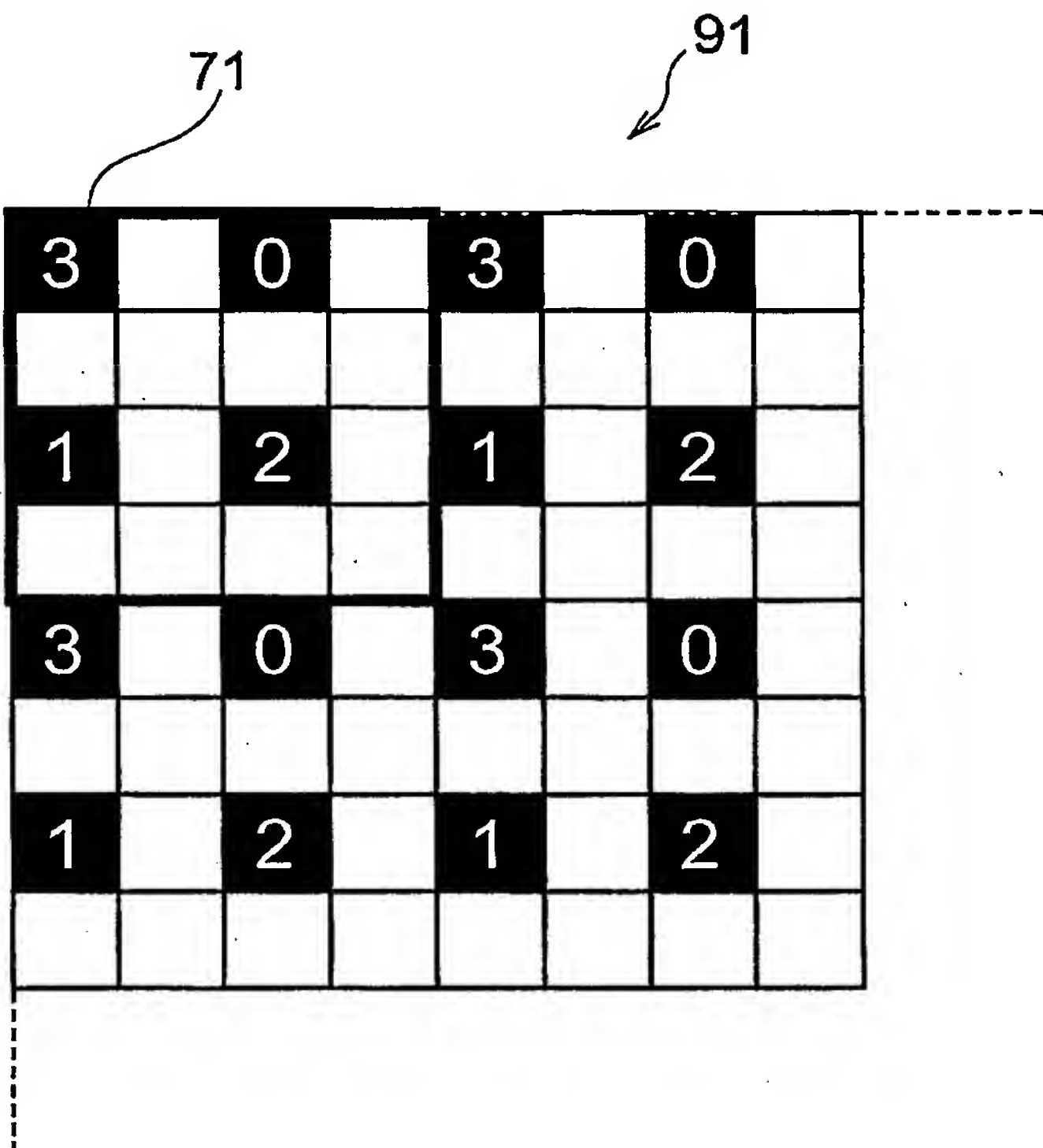
【図 12】



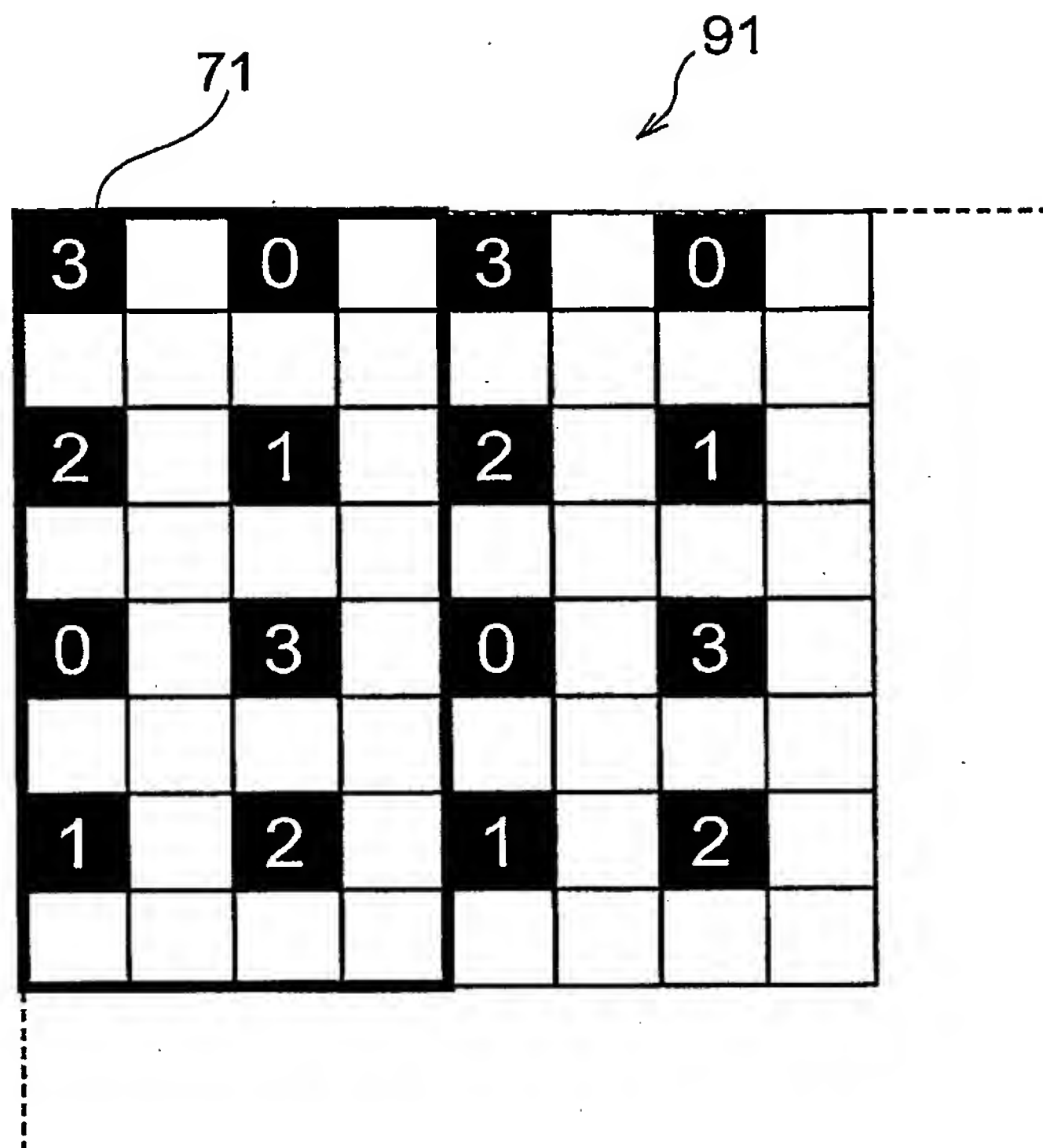
【図 13】



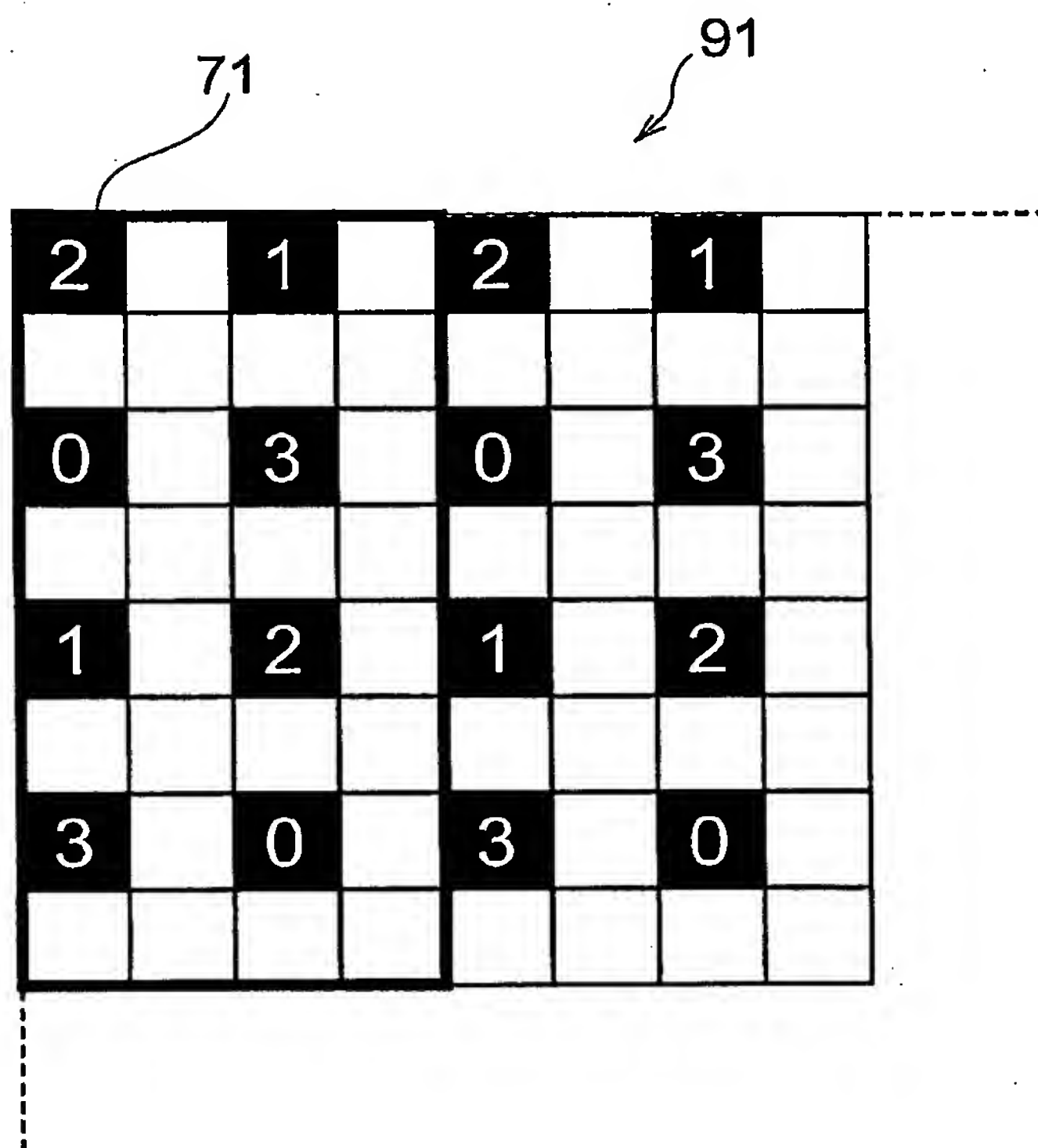
【図 1 4】



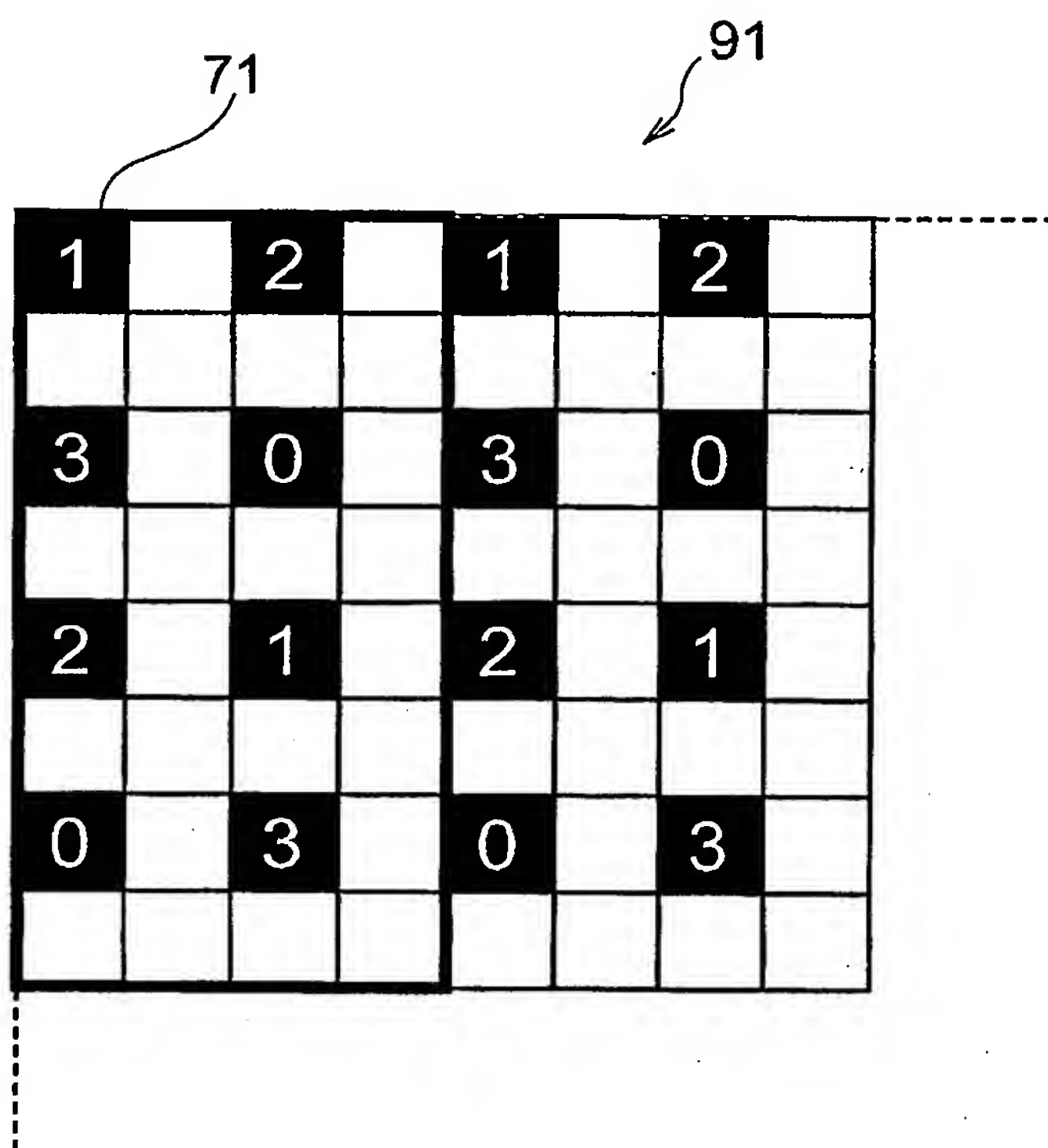
【図 15】



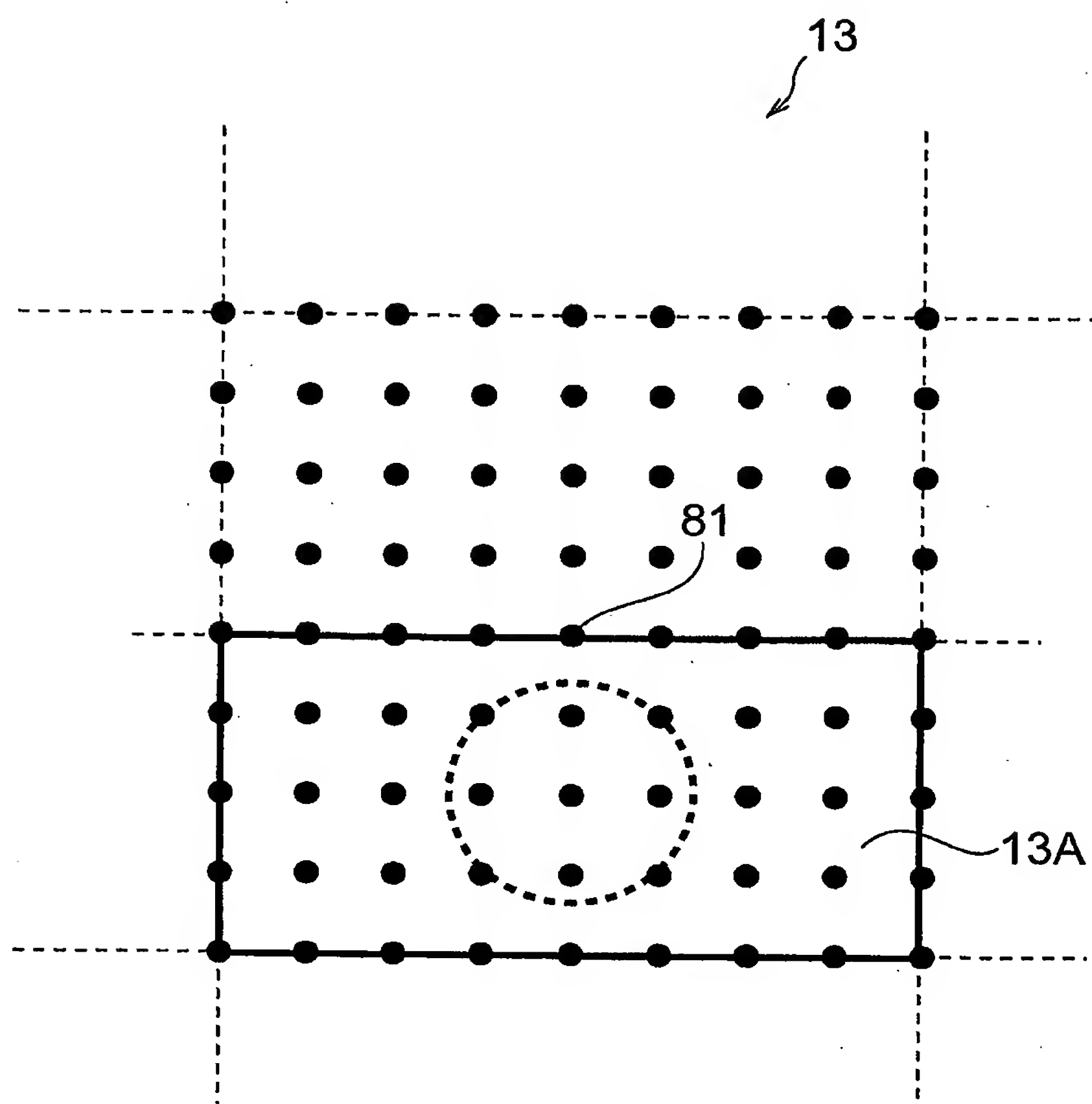
【図 16】



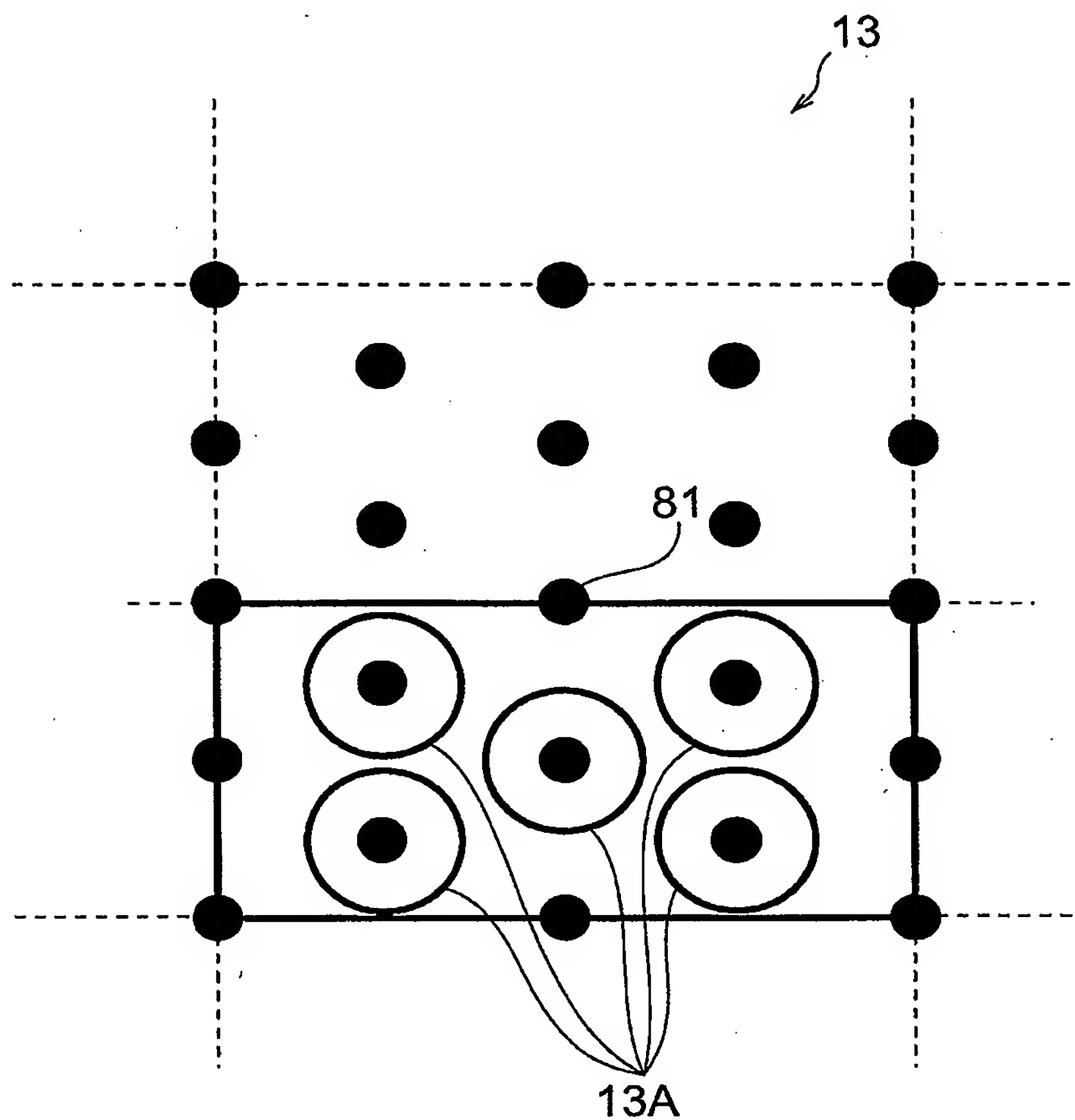
【図 17】



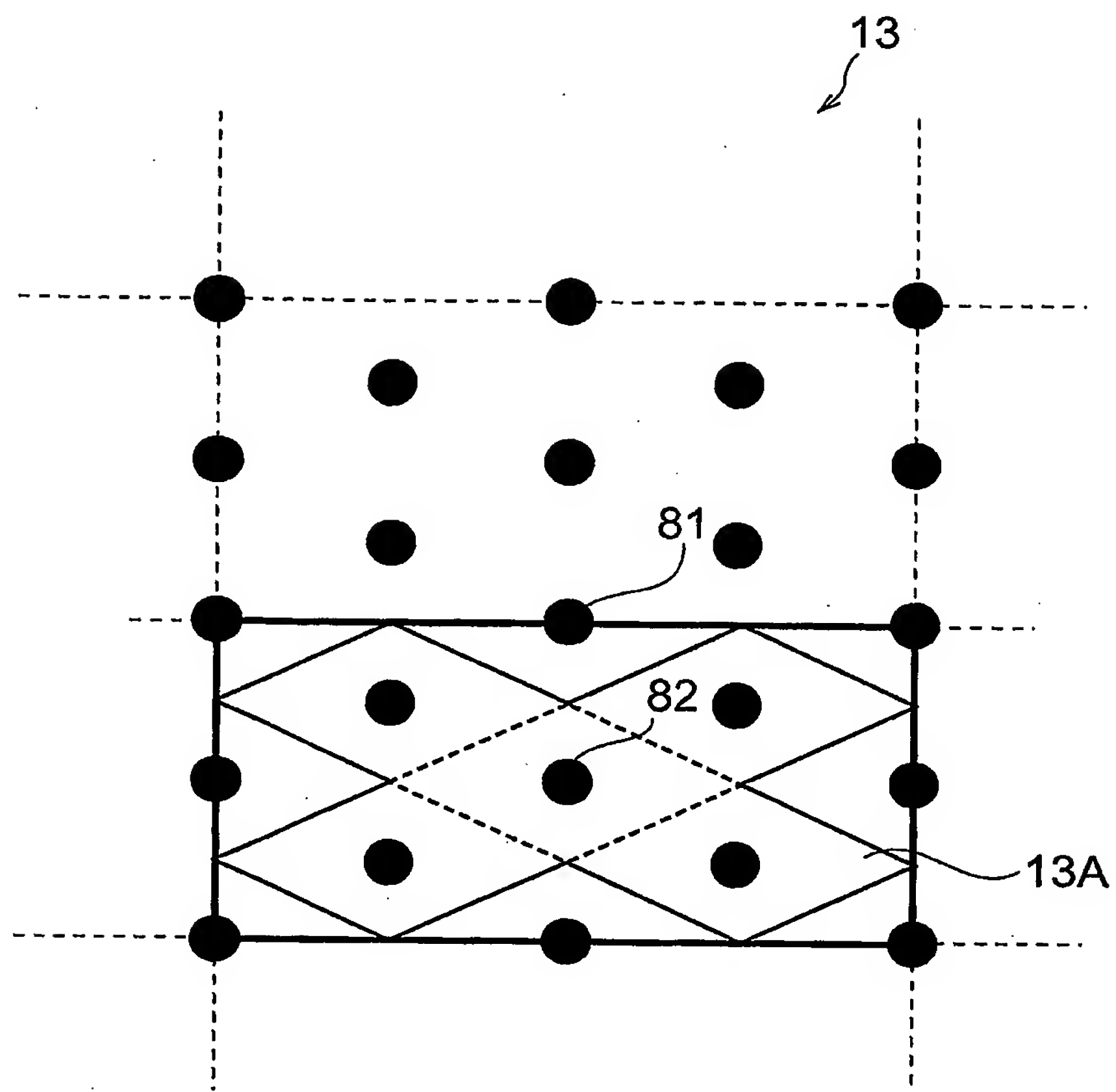
【図 18】



【図 19】



【図 20】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 簡易な構成で観察者の眼の焦点調節機能を有効に働かせて高品質の再生像を表示することができる三次元像表示装置を提供する。

【解決手段】 レンズ 12 の後焦点面において空間光変調素子 11 での特定次数の回折による再生像を観察し得る領域内に到達する再生光のピーク位置が複数となるように、表示すべき目標再生像を構成する各輝点の輝点間隔および初期位相値の双方または何れか一方を設定して、この目標再生像を表示し得るホログラムを空間光変調素子 11 に呈示させる。ホログラムが呈示された空間光変調素子 11 に入射した照明光 90 は、各画素において振幅または位相が変調される。この変調された光すなわち再生光はレンズ 12 により波面変換されて、再生像が形成される。マスク 13 の開口部 13A の付近に眼の瞳を配置した観察者は、開口部 13A およびハーフミラー 15 を通して、表示再生像 93 を観察することができる。

【選択図】 図 3

特願 2 0 0 4 - 0 0 1 3 0 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 2 3 6 4 3 6]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 1 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1

氏 名

浜松ホトニクス株式会社

From the INTERNATIONAL BUREAU

PCTNOTIFICATION CONCERNING
SUBMISSION OR TRANSMITTAL
OF PRIORITY DOCUMENT

(PCT Administrative Instructions, Section 411)

To:

HASEGAWA, Yoshiki
SOEI PATENT AND LAW FIRM
Ginza First Bldg.
10-6, Ginza 1-chome
Chuo-ku, Tokyo
1040061
JAPON

Date of mailing (day/month/year) 02 September 2005 (02.09.2005)	
Applicant's or agent's file reference FP04-0475-00	IMPORTANT NOTIFICATION
International application No. PCT/JP2005/000042	International filing date (day/month/year) 05 January 2005 (05.01.2005)
International publication date (day/month/year) 21 July 2005 (21.07.2005)	Priority date (day/month/year) 06 January 2004 (06.01.2004)
Applicant HAMAMATSU PHOTONICS K.K. et al	

- By means of this Form, which replaces any previously issued notification concerning submission or transmittal of priority documents, the applicant is hereby notified of the date of receipt by the International Bureau of the priority document(s) relating to all earlier application(s) whose priority is claimed. Unless otherwise indicated by the letters "NR", in the right-hand column or by an asterisk appearing next to a date of receipt, the priority document concerned was submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b).
- (If applicable)* The letters "NR" appearing in the right-hand column denote a priority document which, on the date of mailing of this Form, had not yet been received by the International Bureau under Rule 17.1(a) or (b). Where, under Rule 17.1(a), the priority document must be submitted by the applicant to the receiving Office or the International Bureau, but the applicant fails to submit the priority document within the applicable time limit under that Rule, the attention of the applicant is directed to Rule 17.1(c) which provides that no designated Office may disregard the priority claim concerned before giving the applicant an opportunity, upon entry into the national phase, to furnish the priority document within a time limit which is reasonable under the circumstances.
- (If applicable)* An asterisk (*) appearing next to a date of receipt, in the right-hand column, denotes a priority document submitted or transmitted to the International Bureau but not in compliance with Rule 17.1(a) or (b) (the priority document was received after the time limit prescribed in Rule 17.1(a) or the request to prepare and transmit the priority document was submitted to the receiving Office after the applicable time limit under Rule 17.1(b)). Even though the priority document was not furnished in compliance with Rule 17.1(a) or (b), the International Bureau will nevertheless transmit a copy of the document to the designated Offices, for their consideration. In case such a copy is not accepted by the designated Office as the priority document, Rule 17.1(c) provides that no designated Office may disregard the priority claim concerned before giving the applicant an opportunity, upon entry into the national phase, to furnish the priority document within a time limit which is reasonable under the circumstances.

<u>Priority date</u>	<u>Priority application No.</u>	<u>Country or regional Office or PCT receiving Office</u>	<u>Date of receipt of priority document</u>
06 January 2004 (06.01.2004)	2004-001303	JP	03 March 2005 (03.03.2005)

The International Bureau of WIPO
34, chemin des Colombettes
1211 Geneva 20, Switzerland

Facsimile No. +41 22 338 82 70

Authorized officer

Moussa, Huynh Thi Thu Trang

Facsimile No. (41-22) 338.90.90

Telephone No. +41 22 338 7059